Aus dem
Zentrum der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde
Abteilung für Audiologie und medizinische Akustik
(Leiter: Prof. Dr.-Ing. Röser)

PROZENTUALER HÖRVERLUST BEI LÄRMSCHWERHÖRIGKEIT, EIN KRITISCHER VERGLEICH ZWISCHEN TON- UND SPRACHGEHÖR VERSCHIEDENER POPULATIONEN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin
des Fachbereichs Humanmedizin der
Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main

vorgelegt von
CORNELIA PABST
aus
Eppstein/Ts.

Frankfurt am Main, ~~1985~~ 1984

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41523703_0034

Aus dem
Zentrum der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde
Abteilung für Audiologie und medizinische Akustik
(Leiter: Prof. Dr.-Ing. Röser)

Prozentualer Hörverlust bei Lärmschwerhörigkeit, ein kritischer Vergleich zwischen Ton- und Sprachgehör verschiedener Populationen

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin des Fachbereiche Humanmedizin der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main

vorgelegt von Cornelia Pabst
aus Eppstein/Ts.

Frankfurt am Main, 1983

Dekan: Prof. Dr. H.J. Müller

Referent: Prof. Dr. D. Röser

Korreferent: Prof. Dr. R. Klinke

Tag der mündlichen Prüfung: 7. Juni 1984

Inhaltsverzeichnis

		Seite
Einführung		1
Kapitel I	Erstellen der Populationen und ihre Zusammensetzung	16
Kapitel II	Ermitteln des prozentualen Hörverlustes aus dem Tonaudiogramm nach bekannten Verfahren	36
	1.0 Allgemeines Vorgehen	36
	1.1 Röser: Prozentualer Hörverlust aus 1 und 3 kHz	37
	2.1 v. Lüpke: Prozentualer Hörverlust aus 1 und 3 kHz	48
	2.2 v. Lüpke: Prozentualer Hörverlust 0,5; 1 und 2 kHz	53
	2.3 v. Lüpke: Prozentualer Hörverlust aus 1; 2 und 3 kHz	58
	2.4 v. Lüpke: Prozentualer Hörverlust aus 2 kHz	63
	3.1 Fowler u. Sabine	67
	4.1 Trautmann u. Oeken	73
Kapitel III	Vergleich der einzelnen Verfahren und abschließende Beurteilung	82
Zusammenfassung		88
Literatur		90

Einführung

Lärm und Arbeit

Mit zunehmender Entwicklung von Industrie und Technik im Laufe dieses Jahrhunderts wird der Arbeitnehmer immer mehr dem Lärm ausgesetzt. Hinzu kommt noch die steigende allgemeine Lärmbelästigung durch die Umwelt.
Deshalb empfehlen Bess u. Poynor eine obere Freizeit-Lärmgrenze von 75 dB (A) bei einer Freizeit-Lärmbelastung von 8 Stunden Dauer täglich.
Die Lärmbelästigung hat altersmäßig eine früher einsetzende pathologische Hörermüdung und nachfolgend eine bleibende Hörschädigung zur Folge, die im normalen Arbeitsprozeß durch Mißverständnisse von gegebenen Anordnungen und Überhören wichtiger Informationen nicht nur zu einer Leistungsminderung oder gar zu einer erhöhten Gefährdung im Beruf führen kann, sondern zusätzlich eine psychologische Belastung des Betroffenen darstellt.

Lärmschwerhörigkeit als Berufskrankheit

Heute kommt der Lärmschwerhörigkeit als Berufskrankheit und der daraus resultierenden Minderung der Erwerbsfähigkeit eine große Bedeutung zu.
Die finanziellen Ausgaben der Industrie und der Versicherungen sind im Rahmen der Lärmschwerhörigkeit weit größer als im Rahmen aller anderen anerkannten Berufskrankheiten (Glorig). Allein die Summe der Rentenzahlungen soll, so wird geschätzt, von 1960 bis 1985 rund 1,6 Mrd. DM

betragen (Wittgens). Deshalb wird außer der Weiterentwicklung des physikalischen Lärmschutzes auch der Einbezug von medikamentösem Hörschutz gefordert, wobei in erster Linie an die Nicotin- und Glutaminsäure und an Lezithin zu denken wäre (Dieroff). Dies alles setzt jedoch voraus, daß zunächst einmal die Möglichkeit einer Beurteilung bereits manifester Lärmschwerhörigkeit geschaffen wird.

Chronologische Entwicklung der Lärmschwerhörigkeit

Die Entwicklung einer Lärmschwerhörigkeit untersuchte Lafon für Impulslärm. Er stellte fest, daß der Schaden in den ersten Jahren der Beschäftigung rasch zunimmt, dann in eine Phase des langsameren Anstiegs übergeht und erst ab dem 60. Lebensjahr ein erneuter Steilanstieg zu verzeichnen ist. Untersuchungen von Takeuchi führten zu der Erkenntnis, daß in Lärmbetrieben zwischen dem 16. und 20. Beschäftigungsjahr die Anzahl der Geschädigten besonders stark ansteigt.
Kramarenko, Ostapkovich u. Ponomareva untersuchten die Abhängigkeit des Ausmaßes der Lärmschädigung vom Eintrittsalter in den jeweiligen Lärmberuf. Dabei stellten sie fest, daß besonders schwere Schäden zu erwarten sind, wenn der Eintritt in berufsbedingten Lärm
a) mit 15 Jahren
b) mit mehr als 30 Jahren erfolgt.
Er kommt deshalb zu der Forderung, 15 bis 17jährige

und mehr als 40jährige nicht mehr in derartige Betriebe neu einzustellen. Partsch u.Hülse fordern außerdem eine Kontrolluntersuchung alle drei Jahre, wenn der durchschnittliche Lärmpegel am Arbeitsplatz größer als 90 dB (A) ist.

Um die unterschiedliche Lärmbelastbarkeit der verschiedenen Arbeitnehmer vor dem Beginn einer Tätigkeit, die mit starkem Lärm verbunden ist, zu testen, schlug Arlinger ein spezielles Gehörvorsorgeprogramm vor. Dieses Präventivprogramm soll vor allem die kleinen Betriebe versorgen, die keinen eigenen Werksarzt haben und bislang keinem werksärztlichen Dienst angeschlossen sind.

Es werden Lärmanalysen durchgeführt und Vorschläge für eine effektive Lärmdämmung gemacht.

Weiterhin sollen Siebtests in einem Audiomobil und Aufklärungsaktionen über Lärmschutz für Betriebe und Betriebsangehörige durchgeführt werden.

Alle in einem Siebtest auffälligen Personen werden einer ausführlichen audiometrischen Untersuchung zugeführt.

Die Ergebnisse aus der Hörprüfung und den Lärmmessungen werden statistisch ausgewertet.

Pathogenese der Lärmschwerhörigkeit

Bei Schalleinwirkung auf das Ohr reagiert dieses, genau wie andere Sinnesorgane, mit der Adaptation. Es kommt dabei zu einem Anstieg der Hörschwelle, der entweder proportional zur Schallintensität sofort nach Einsetzen der Beschallung erfolgt (Sofortadaptation) oder unabhängig von der Schallintensität mit einem Maximum etwa nach einer Minute (Langsamadaptation).

Die Adaptation ist ein physiologischer Vorgang, der zur Differenzierung der Hörerlebnisse beiträgt. Die Isophonen werden dabei nach oben verschoben und rücken gleichzeitig näher zusammen (Klinke).

Im Gegensatz zur Adaptation steht die Hörermüdung in direktem Zusammenhang mit dem akustischen Trauma. Es handelt sich hierbei um eine reversible Schwellenabwanderung, auch TTS (= tempory threashold shift) genannt, deren Maximum im Gegensatz zur Adaptation 1/2 - 1 Oktave oberhalb des Reiztones liegt (Davis, Morgan, Hawkins, Galambos u. Smith).

Man unterscheidet zwischen TTS_2 und TTS_{1000}.

Unter TTS_2 versteht man die zwei Minuten nach Absetzen des Reiztones noch bestehende Schwellenabwanderung. Mit dieser Definition sollen Vergleiche verschiedener Meßwerte ermöglicht werden. Die Definition des TTS_{1000} wurde von Ward 1973 vorgeschlagen. TTS_{1000} ist die nach 16 Stunden

Lärmpause noch bestehende Schwellenabwanderung. Trifft der Lärm auf ein bereits vorgeschädigtes Ohr, so wird eine geringere Schwellenabwanderung beobachtet, da die für die Verschiebung der Hörschwelle verantwortlichen Haarzellen zuvor schon zerstört waren. Es handelt sich hierbei um keine "Schutzwirkung" der Schwerhörigkeit, sondern nur um die Verminderung des Bereichs noch unterscheidbarer Lautstärkenstufen. Vergleicht man vorgeschädigte und gesunde Ohren mit überschwelligen Untersuchungen, so zeigt sich bei beiden ein Empfindlichkeitsverlust nach Lärmexposition (Botte u. Variot) . Erneute Lärmbelastung bei noch bestehender TTS kann zu dauerhaften Lärmschäden führen. Liegen aber ausreichend große Ruhepausen zwischen den einzelnen Lärmphasen, so wird die vorübergehende Verschiebung der Hörschwelle nur noch etwa halb so groß sein wie bei ständiger Lärmbelastung mit gleicher Gesamtenergie (Nemecek). Sind ausreichende Ruhephasen vor einer erneuten Lärmbelastung jedoch nicht gewährleistet, so kann es zu dauerhaften Verschiebungen der Hörschwelle kommen. In diesem Fall spricht man von "permanenter Schwellenabwanderung" oder, aus dem Englischen übernommen, PTS (= permanent threashold shift).

Oft findet man im Tonaudiogramm initial eine sogen. c_5-Senke, d.h. einen separaten Anstieg des Hörver-

lustes im Bereich 4000 bis 6000 Hz, im weiteren Verlauf kommt es zum allgemeinen Hochtonverlust und schließlich dehnt sich der Hörverlust auch auf das Sprachhörfeld aus.

Die morphologischen Veränderungen, die diesen Beobachtungen wahrscheinlich zugrundeliegen, sind mannigfaltig; unsere Kenntnisse basieren vorwiegend auf entsprechenden Tierversuchen.

Nach Beobachtungen von Meyer u. Biedermann treten bei Meerschweinchen sofort nach erhöhter Schalleinwirkung Veränderungen an äußeren Haarzellen auf. Die Zellkerne schwellen an oder sind verlagert. Zwei Stunden nach der Schalleinwirkung zeigen sich gehäuft Karyorrhexis und Pyknosen, sowie Lücken im normalen äußeren Haarzell-Muster. Außerdem kommt es zu einer Durchmischung von Peri- und Endolymphe durch Lücken in der Retikularmembran. Damit sinkt der Kaliumgehalt der Endolymphe ab, ebenso der Natriumgehalt der Perilymphe.

Voldřich führt die Nekrosen des Corti-Organs als Folge des akustischen Traumas auf das Eindringen von kalimreicher Endolymphe in das Corti-Organ zurück. Auch in anderen Untersuchungen kam es nach Lärmeinwirkung auf Meerschweinchen zum Verlust der äußeren Haarzellen. Ritter u. Gerhardt beschreiben eine gleichzeitig beginnende Degeneration der inneren Haarzellen mit Zelldistorsionen, pyknotischen Kernen, Zytoplasmaverdichtung mit Vakuolen und zerstörten

Stereozilien. Sie beobachteten eine Progredienz des Schadens der inneren Haarzellen über mehrere Tage, während die Läsion der äußeren Haarzellen stagnierte. Außerdem verminderte sich die Anzahl der Stützzellen, was Salvi, Hamernik u. Henderson auch in Gegenwart von normalen äußeren und/oder inneren Haarzellen beobachtet haben.

Die Hypoxie der Cochlea, die nach Lärmeinwirkung durch Messung des Sauerstoffgehaltes in der Perilymphe beobachtet wird, führte Hultcrantz auf erhöhten Sauerstoffbedarf, aber nicht auf eine veränderte Innenohrdurchblutung zurück. Auch Axelsson, Vertes u. Miller konnten durch Vergleiche der Cochlea-Gefäße beschallter Meerschweinchen mit denen unbeschallter Kontrolltiere nur unwesentliche Unterschiede aufzeigen. So waren die Differenzen in der Lamina spiralis größer als in den Gefäßen der Außenwand und generell in den perilymphnahen Gefäßen ausgeprägter als in den endolymphnahen. Bei Chinchillas führte die einmalige Beschallung u.a. zu einem Oedem im Bereich der Stria vascularis, das nach der zweiten Beschallung im Abstand von 28 Tagen allerdings weniger stark ausgeprägt war (Santi u. Duvall).

Neben diesen mehr strukturellen Veränderungen des Hörorgans durch Lärmeinwirkung kommt es zusätzlich zu metabolischen Alterationen. Die Aktivität der Lactatdehydrogenase, ein Enzym, das maßgeblich an der

anaeroben Glykolyse beteiligt ist, sinkt nach Hochtonbeschallung ab (Manhio u. Gershbein). Ebenso vermindert sich der Glykogengehalt im Spiralorgan in charakteristischer Weise (Hermanowicz). Schließlich kommt es noch zur Beeinflussung der Eiweißsynthese, indem sich nach kurzfristiger, mäßiger Beschallung der Eiweißstoffwechsel steigert, was z.B. in einer beschleunigten RNS-Synthese zum Ausdruck kommt, während längere Lärmbelastungen zur Proteolyse führen (Spoendlin).

Prognose eines Lärmschadens

Aber nicht nur die Ursache, das Ausmaß und der Verlauf einer Lärmschwerhörigkeit sind von Interesse, sondern auch die Möglichkeit einer frühen Prognostik. Bisher benutzte man dazu, so weit möglich, die Schwellenabwanderung der Hörkurve in dem Frequenzbereich, in dem der Dauerschaden lokalisiert ist (Fritze), den Verlauf der TTS_2 (Dieroff) oder in neuerer Zeit auch das EEG, das bei 50% der Lärmarbeiter charakteristische Veränderungen im Sinne einer α-Minderung bzw. einen β-Typ aufweist, die beide kontinuierlich mit zunehmendem Schaden ansteigen. Richtungsweisend sind hier Dieroff, Werner, Stahl u. Reichel, um nur einige zu nennen. Alle diese Verfahren stehen jedoch noch am Anfang ihrer Entwicklung.

Die Diagnose Lärmschwerhörigkeit anhand des Tonaudiogramms

Besteht nun der Verdacht einer durch den Beruf provozierten Lärmschwerhörigkeit, so muß diese bewertet bzw. begutachtet werden. Hierzu sind eine eindeutige Diagnosestellung und eine quantitative wie auch qualitative Feststellung des Hörverlustes notwendig. Die Diagnose wird anhand der Anamnese, des Tonaudiogramms

und einiger überschwelliger Testverfahren gestellt. Das Tonaudiogramm stellt die Hörschwelle dar, die für bestimmte reine Töne verschiedener allgemein festgelegter Frequenzen (Standardfrequenzen) den Hörverlust ausdrückt. Bei beginnender Lärmschwerhörigkeit zeigt die Hörschwelle bevorzugt einen Hörverlust der hohen Töne, wobei sich häufig eine sogenannte Tonsenke herausbildet, vorwiegend bei bestimmten Frequenzen; welche Frequenzen hauptsächlich betroffen werden,hängt in erster Linie vom Frequenzspektrum des Lärmes ab. Bei tonalen Geräuschen(Turbinen z.B.) entsteht die Senke mehr bei tieferen Frequenzen,etwa 3 kHz, die oben erwähnten Impulsgeräusche bewirken eine Senke nahe 6 kHz, und bei indifferentem Lärm liegt diese bei 4 kHz (Dieroff). Auch Untersuchungen von Plath haben bewiesen, daß die größte Lärmbelastung von der Frequenz 4 kHz ausgeht.

Um das Tonaudiogramm aufzunehmen,bedarf es einer guten Konzentration des Patienten und eines guten Einstellens des Untersuchers auf die individuell verschiedene Reaktionsgeschwindigkeit der Patienten (normal 0,5 s). Dabei kann es immer zu Ungenauigkeiten kommen, die in der späteren Begutachtung berücksichtigt werden müssen.-

Überschwellige Testverfahren;ihre Bedeutung und Anwendung

Die überschwelligen Testverfahren geben Auskunft über die Lokalisation des Schadens. Hierzu zählen:

1) Fowler-Test.

   Der Test wird bei einseitiger Schallempfindungsstörung angewandt. Bei cochleären Schäden zeigt sich ein positives Recruitment(Lautheitsausgleich),welches besagt,daß bei größeren Schallstärken das kranke Ohr den Prüfton nahezu genauso laut empfindet wie das gesunde Ohr.

2) Intensitätsunterscheidungsschwelle nach Lüscher.

   Sie kann auch bei beidseitiger Schallempfindungs - störung zur Beurteilung herangezogen werden.
   Das in der Cochlea geschädigte Ohr besitzt ein besseres Unterscheidungsvermögen als das gesunde oder retrocochleär geschädigte Ohr und liefert bei diesem Test bessere Werte.

3) SISI-Test (Short Increment Sensitivity-Index).

   Aussagekräftig bei ein- und zweiseitiger Schallempfindungsstörung. Die kurzzeitige Lautstärkeerhöhung um 1 dB wird bei Cochleaschäden gerade noch wahrgenommen, von gesunden oder retrocochleär geschädigten Ohren nicht mehr.

4) Geräuschaudiometrie nach Langenbeck.

   Ebenfalls ein-oder beidohrig einzusetzen. Das retrochleär geschädigte Ohr kann im Störgeräusch reine Töne nicht so gut erkennen wie der Normalhörende oder der Schwerhörige mit Störung in der Cochlea.

Sprachaudiometrie

Die Sprachaudiometrie, im Grunde auch ein überschwelliges Testverfahren, dient der quantitativen Beurteilung einer Schwerhörigkeit, erfaßt allerdings auch individuelle Charakteristika der Patienten wie Intelligenz, Kombinationsgabe und Situationsverständnis. Heute findet der Freiburger Sprachtest (Hahlbrock) ausschließlich Verwendung. Die Prüfung erfolgt mittels gespeicherter Sprache (nur Umgangssprache) über Kopfhörer, wodurch die Raumakustik eine untergeordnete Rolle spielt. Mit zweistelligen Zahlen wird festgestellt, wie laut die Sprache eingestellt werden muß, um sie zu verstehen. (Hörverlust für Sprache). Einsilbige Hauptwörter verschaffen einen Überblick über das Erkennen der Feinheiten in der Sprache bei verschiedenen Schallstärken. Je schlechter das gelingt, umso größer ist der "Diskriminationsverlust".

Hörweitenbestimmung

Die Hörweitenbestimmung erfolgt mit lebendiger Sprache bei unterschiedlicher Entfernung im schallgeschützten und reflexionsarmen Prüfraum. Zahlen werden in Umgangs- und Flüstersprache vorgesprochen, in Umgangssprache zusätzlich leichte und schwierige Wörter. Die gröbsten Störfaktoren treten bei dieser Art der Sprachgehörprüfung auf, denn lebende Sprache ist nur unzulänglich reproduzierbar. Die unterschiedliche Stimmlage der Prüfer, besonders wenn es sich um männliche und weibliche Prüfer handelt und die unterschiedliche Raumakustik der verschiedenen Untersuchungsräume machen einen Vergleich der verschiedenen-

orts gemessenen Hörverlustwerte fast unmöglich(Dieroff , Röser 1959). Um die Ungenauigkeiten bei der Erfassung der Hörweiten zu beheben, schlug Röser 1959 eine Lautsprecherapparatur vor, die das ermittelte Ergebnis unabhängig von Prüfer und Raumgröße macht.

Vergleich zwischen Hörweite und Sprachaudiogramm

Schon 1957 haben Boenninghaus und Röser versucht,eine Beziehung zwischen dem Ergebnis der Hörweitenbestimmung und der Sprachaudiometrie aufzustellen. Zur zahlenmäßgen Bewertung des Sprachaudiogramms verwendeten sie den sog.S.A.I.,eine Hörtüchtigkeitsmaßzahl, die die Werte von a_1 (Hörverlust für Zahlen)und den Diskriminationsverlust DV beinhaltet. Als "Richtzahl der Hörweiten" diente das Produkt aus den Werten der Hörweite für Umgangssprache und der Hörweite für Flüstersprache. Setzt man beide Methoden in Bezug zueinander, so stimmen sie zwar ziemlich überein(1957),doch kommt es bei der Richtzahl,wie Boenninghaus und Röser 1958 beschrieben haben, zu einer Überbewertung der Flüstersprache und mit dem S.A.I. allein zu einer Überbewertung der Schwerhörigkeit überhaupt. Die Autoren führten deshalb eine Korrektur des Richtwertes ein:$R = \sqrt[3]{V^2 \cdot v}$ (V = Hörweite für Umgangssprache, v = Hörweite für Flüstersprache).

Prozentualer Hörverlust aus dem Sprachgehör

Um die Festsetzung des prozentualen Hörverlustes aus der Hörweitenprüfung bemühten sich Boenninghaus und Röser schon 1958 und legten 1973 eine Neufassung der damals aufgestellten Tabelle vor.

Bereits 1949 errechneten Watson und Tolan einen adäquaten prozentualen Sprachgehörverlust aus dem Tongehörverlust für bestimmte Frequenzen, doch findet bei uns heute nur noch die Tabelle von Boenninghaus und Röser Anwendung. Röser veröffentlicht 1963 erstmals Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Sprachhörvermögen und den Werten des Tonaudiogramms. In getrennten Darstellungen wird die Korrelation zur Tonschwellenkurve für den Hörverlust für Zahlen aus dem Sprachaudiogramm sowie für die Hörweite für Umgangssprache bzw. Flüstersprache zum Ausdruck gebracht.

Prozentualer Hörverlust aus dem Tonaudiogramm

Nachdem die Möglichkeit bestand, den prozentualen Hörverlust sowohl aus den Hörweiten für Umgangssprache und Flüstersprache als auch aus dem Sprachaudiogramm zu ermitteln, gab Röser 1967 ein Verfahren an, das es ermöglicht, den prozentualen Hörverlust zusätzlich aus dem Tonaudiogramm zu erfassen und damit Ton- und Sprachgehör sowie die Hörweiten miteinander zu vergleichen. Notfalls, wenn keine anderen Möglichkeiten bestehen (z.B. bei Ausländern mit geringen Deutschkenntnissen), läßt sich der prozentuale Hörverlust auch nur aus dem Tonaudiogramm direkt ermitteln. Bei dieser Methode werden zunächst die Hörweiten für Umgangssprache und Flüstersprache aus dem Tonaudiogramm ermittelt oder auch durch Hörweitenbestimmung im Original erfaßt und daraus der prozentuale

Hörverlust einer entsprechenden Tabelle entnommen.
Seit 1967 wurden noch diverse Möglichkeiten zur Bestimmung des prozentualen Hörverlustes aus dem Tonaudiogramm vorgeschlagen.
In dieser Arbeit sollen die 7 wichtigsten Methoden aus den Jahren 1947 bis 1979 untersucht werden.

Kapitel I

Aufgabenstellung

Anhand einer größeren Anzahl Lärmschwerhöriger, die sämtlich an einer Universitäts-HNO-Klinik begutachtet waren, sollte untersucht werden, inwieweit die Hörverlustwerte übereinstimmen, wenn sie einmal über das Sprachgehör ermittelt werden und ein zweites Mal aus dem Verlauf der Tonschwellenkurve.
Zur Sprachgehörbewertung diente ausschließlich die Tabelle zur Bestimmung des prozentualen Hörverlustes nach Boenninghaus u. Röser aus dem Jahre 1973.
Für die Bemessung des Hörverlustes aus dem Tonaudiogramm sollten möglichst viele unterschiedliche Bewertungsverfahren herangezogen werden.

Untersuchungsmaterial

Der kritische Vergleich zwischen Ton- und Sprachgehör anhand unterschiedlicher Bewertungsverfahren der Tonschwellenkurve erfolgt auf der Grundlage von vier verschiedenen lärmgeschädigten Populationen, nämlich Patientengruppen der Universitäts-HNO-Kliniken Münster, Heidelberg, Bonn und Frankfurt.
Die repräsentativen Werte sind Gutachten aus den Jahren 1976 bis 1980 entnommen. Die Anzahl der

erfaßten Patienten beträgt:

a) Heidelberg insgesamt 600

b) Münster, Bonn und Frankfurt jeweils 500.

Es wurden nur Gutachten, die eine Lärmschwerhörigkeit bestätigten, ausgewählt. Gutachten, in denen eine Lärmschwerhörigkeit nicht eindeutig nachweisbar oder die Schwerhörigkeit mit Sicherheit anderer Genese war, fanden in dieser Untersuchung keine Berücksichtigung. Die jeweiligen Tonaudiogramme wurden auf folgenden Audiometern aufgenommen:

1) Münster: Peters SPD 3

2) Heidelberg: Siemens BEOMAT 2005

3) Bonn: Siemens BEOMAT 2005

4) Frankfurt: Siemens BEOMAT 2004 und ATLAS EM 40

Feststehende Merkmale:

Die aus den Gutachten entnommenen Merkmale sind zunächst:

1) Alter des Patienten

2) das Geschlecht

3) der Hörverlust bei 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz und 4 kHz aus dem Tonaudiogramm

4) der Hörverlust für Zahlen aus dem Sprachaudiogramm(a_1)
5) die Wortverständlichkeit bei den Lautstärken von 60, 80, 90 und 100 dB
6) der Diskriminationsverlust aus dem Sprachaudiogramm (DV)
7) die Hörweiten für Umgangs- und Flüstersprache

Mit Hilfe dieser Angaben wurden in jedem Fall berechnet:
1) das Gesamtwortverstehen w_s, gebildet aus dem Wortverständnis bei 60, 80 und 100 dB
2) der prozentuale Hörverlust aus dem Sprachaudiogramm nach der Tabelle von Röser und Boenninghaus (1973).

Auswertung:

Das rechte und linke Ohr eines Patienten wurde als Fall für sich betrachtet, was bedeutet, daß diese Arbeit auf 4124 Basisbefunde aufgebaut ist.
Die mathematische Auswertung geschah über eine Großrechenanlage, die es erlaubte, die aus den Gutachten entnommenen Werte längere Zeit auf Magnetband zu speichern. Eine Verschlüsselung war nicht nötig (s. Plath).
Die Hörverluste für die entsprechenden Frequenzen aus dem Tonaudiogramm sind in 5 dB-Stufen abgelesen, die Angaben zur Verständlichkeit im Sprachaudiogramm in Stufen zu je 5%.

Anteil der Geschlechter

Dieroff konnte anhand von Untersuchungen an in einem Schraubenwerk beschäftigten Frauen zeigen, daß Frauen, evtl. auf Grund des Follikelhormons, eine größere Resistenz gegen Lärm haben als ihre männlichen Kollegen. In den hier zugrunde gelegten Stichproben sind nur 41 Befunde von weiblichen Beschäftigten enthalten. Sie verteilen sich auf die einzelnen Orte wie folgt:

Münster: 11 (2,2%)

Heidelberg: 16 (2,6%)

Bonn: 4 (0,8%)

Frankfurt: 10 (2,0%)

Da der Anteil der weiblichen Begutachteten so klein ist, schien es wenig sinnvoll, zwischen einer weiblichen und einer männlichen Stichprobe zu unterscheiden. Leider läßt sich aus diesem Grund auch keine Aussage zur Bedeutung der Resistenz auf Lärm bei verschiedenen Geschlechtern machen.

Altersverteilung

Der Hörverlust durch altersbedingte Schwerhörigkeit addiert sich zu der bereits vorhandenen Lärmschwerhörigkeit vermutlich in allen vier Populationen adäquat hinzu und erfordert somit keine besondere Berücksichtigung. Eine generelle Korrektur der Hörverlustkurven um die Altersschwerhörigkeit lehnt auch Brusis (1973) ab, wenngleich aus Untersuchungen von Grisanti u. Maggio und Kressin u. Harms eine Kumulation beider Formen der Schwerhörigkeit

beobachtet wurden.

Die Altersverteilung in den einzelen Stichproben wird dadurch zum Ausdruck gebracht, daß wir alle auswertbaren Fälle einer bestimmten Altersgruppe zugeordnet haben.

Die Altersgruppen unterscheiden sich wie folgt:

Gruppe 1: 30 Jahre alt oder jünger

Gruppe 2: 31 bis 5o Jahre alt

Gruppe 3: 51 bis 65 Jahre alt

Gruppe 4: älter als 65 Jahre

Die Differenz zwischen der insgesamt in die Untersuchung einbezogenen Patientenzahl und der Anzahl der in die Altersverteilung aufgenommenen Fälle entsteht durch teilweise fehlende Altersangaben. Zwischen 1, 1 und 3,2% der Patienten werden dadurch in der Altersverteilung nicht berücksichtigt.

Tab. 1 zeigt, daß sich alle vier Altersverteilungen sehr ähneln, abgesehen von Gruppe 1, deren relativ größere Schwankung von Population zu Population alters- und anteilmäßig jedoch durch die geringe Fallzahl bedingt ist.

In Bonn ist die Zahl der älteren Patienten verhältnismäßig klein.

Gruppe	a	Münster		Heidelberg		Bonn		Frankfurt	
		n in %	$\bar{a}$	n in %	$\bar{a}$	n in %	$\bar{a}$	n in %	$\bar{a}$
1	30	0,8	29,0	3,5	26,8	0,4	27,5	5,3	23,1
2	31-50	30,2	43,8	29,5	47,7	30,8	44,8	36,3	42,7
3	51-65	58,5	56,4	57,1	57,0	63,3	56,9	52,8	56,8
4	65	10,5	68,4	9,9	66,8	5,5	66,6	10,7	68,7
mittleres Alter aller Gruppen		53,6		54,2		53,6		54,1	
Anzahl der hier aufgenommenen Fälle		484		601		490		487	

Tabelle 1:

Altersverteilung der vier Populationen

a Lebensalter in Jahren

n bedeutet die Anzahl der Patienten einer Gruppe

$\bar{a}$ kennzeichnet das mittlere Alter in der Jeweiligen Gruppe

Aus den Mittelwerten zusammengestellte Summenaudiogramme

Um eine Übersicht zu bekommen, ob in den einzelnen Kliniken schwerpunktmäßig mehr leichtere Fälle oder im wesentlichen solche mit großen Hörverlusten begutachtet wurden, haben wir zunächst einmal- für jede der 4 Kliniken getrennt- die Werte aller 1000 (1200) Ohren zu einem einzigen repräsentativen Ton- bzw. Sprachaudiogramm aufaddiert. Zum Erstellen der Durchschnittstonschwellenkurve mußten für jede Standard-Frequenz zwischen 500 Hz und 4 kHz die Hörschwellen, gemessen in dB, addiert und schließlich durch die Anzahl der untersuchten Ohren dividiert werden.
Leider fehlten trotz sorgfältigster Auswahl, vereinzelt Angaben für bestimmte Frequenzen, so daß in Tabelle 2 nicht immer von 1000 (1200) Ohren ausgegangen werden kann. Ähnlich war auch das Vorgehen zum Erstellen des Durchschnitts-Sprachaudiogramms aus den prozentualen Verständlichkeiten bei den Schallstärken von 60, 80, 90 und 100 dB.

Summen-Tonaudiogramm

Die Standard-Tonaudiogramme aus Bonn und Münster verlaufen annähernd parallel, wie qualitativ aus Abb. 1 und quantitativ aus Tab. 2 zu ersehen ist. Auch die Kurve aus den Heidelberger Daten verhält sich ähnlich denen von Münster und Bonn. Abweichend allerdings ist das quantitative und qualitative Gesamtprofil von Frankfurt.

Tabelle 2

Ort	Anzahl	Frequenz kHz	Mittelwert dB	s	$\bar{z}$	$\bar{s}$
Münster	1001	0,5	23,1	20,8		
	1001	1,0	29,6	20,8		
	1000	2,0	48,7	21,1	46,1	20,2
	1000	3,0	63,5	19,2		
	1000	4,0	65,6	19,3		
Heidelberg	1203	0,5	26,1	16,0		
	1203	1,0	32,7	18,9		
	1203	2,0	47,8	20,5	48,2	20,0
	1202	3,0	63,3	21,2		
	1200	4,0	71,2	22,2		
Bonn	1000	0,5	24,1	15,1		
	1000	1,0	33,1	18,5		
	1000	2,0	50,5	19,8	48,8	17,4
	1000	3,0	65,2	16,6		
	1000	4,0	71,2	17,2		
Frankfurt	1000	0,5	9,6	13,5		
	998	1,0	20,1	18,1		
	998	2,0	42,3	22,0	38,8	19,6
	998	3,0	55,4	22,2		
	998	4,0	66,9	22,2		

s Standardabweichung

$\bar{z}$ Mittelwert in dB je Klinik

$\bar{s}$ mittlere Standardabweichung

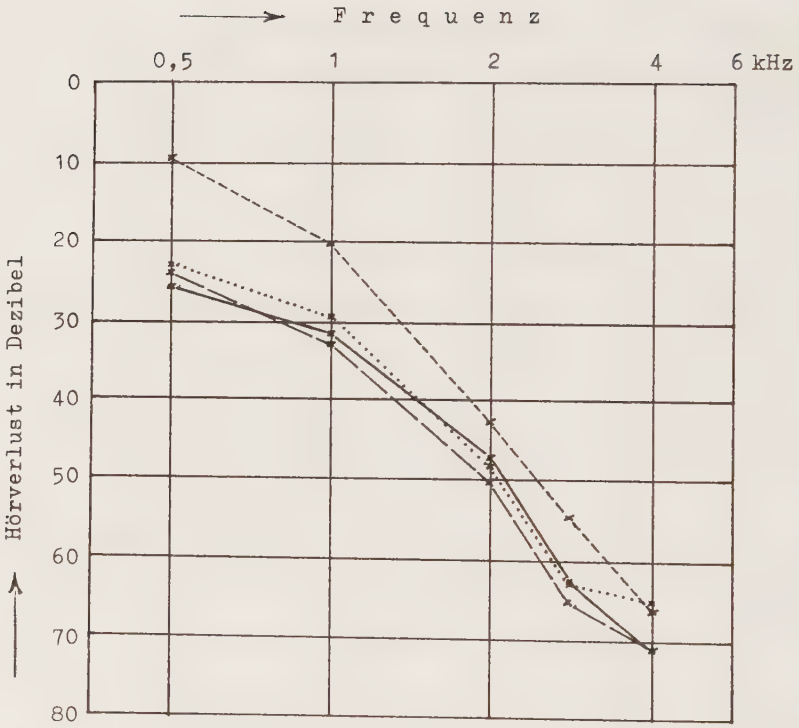

Abbildung 1: Gesamtmittelwert aller ausgewerteten Tonaudiogramme, getrennt nach den einzelnen Kliniken

..... Münster

——— Heidelberg

— — — Bonn

-------- Frankfurt

Besonders in den niedrigen Frequenzen, z.B. bei 0,5 kHz, liegt ein im Durchschnitt um 14,9 dB geringerer Tonhörverlust vor als in den übrigen drei Zusammenstellungen, bei 1 kHz beträgt die durchschnittliche Differenz nur noch 11,8 dB und bei 4 kHz schließlich liegt der Tonhörverlust bei Werten, die den drei anderen Kurven ähneln. Im Vergleich zu Münster, Bonn und Heidelberg ist der gesamtdurchschnittliche Tonhörverlust der Frankfurter Stichprobe um nahezu 10 dB geringer. Diese Diskrepanz im Kurvenverlauf zwischen Frankfurt einerseits und Münster, Bonn und Heidelberg andererseits läßt sich zunächst schwer erklären. Eine Ursache hierfür könnte beispielsweise in der Verwendung von nicht geeichten Audiometern liegen. Da allerdings drei Kurven sehr ähnlich verlaufen und nur die Frankfurter Kurve abweicht, müßten entweder drei Audiometer gleichermaßen falsch geeicht sein, eine Annahme, die sehr unwahrscheinlich ist, oder nur das Audiometer in Frankfurt. Letztere Überlegung ist jedoch zu verwerfen, da auch die Audiometer in Frankfurt, wie eine Nachfrage ergab, mit Sicherheit korrekt geeicht sind. Außerdem erscheint es uns prinzipiell nicht möglich, daß auch nur in einer Universitätsklinik über mehrere Jahre hinweg mit ungeeichten Audiometern begutachtet wird, ohne daß es einem der audiometrierenden Untersucher auffiele. Trotz all dieser Überlegungen eine Überprüfung der Audiometer-Eichung in eigener Regie anzustreben, wäre ein Miß-

trauensausdruck gegen die betroffenen Kliniken und nach deren freundlichem Entgegenkommen unmöglich.

Sind die Geräte normgerecht geeicht, so gibt es erfahrungsgemäß keine entscheidenden Meßunterschiede mit Audiometern verschiedener Bauart. Kleinere Differenzen können sich zwischen Meßergebnissen unter Verwendung von Geräten mit Dauertönen und solchen mit Impulstönen ergeben. Nach Lenhardt liegt die Dauerton-Schwelle durchschnittlich um ca. 5 dB schlechter als die Impuls-Tonschwelle. Doch gerade in Frankfurt wird mit Dauertönen gearbeitet. Somit schließt auch diese Vermutung aus.

Es verbleibt noch die Frage nach systematischen Meß"fehlern".

Schon 1954 beschrieb Meister unterschiedliche Verfahrenstechniken zur Ermittlung des Schwellenwertes. Die "amerikanische" Methode geht von überschwelligen Intensitäten aus und vermindert die Lautstärke langsam bis der Patient den Ton nicht mehr wahrnimmt. Diese Lautstärke wird dann als Schwelle markiert. Als zweite Methode gibt Meister an, die Intensität vom unterschwelligen Bereich her langsam zu steigern bis der Patient den Ton erstmals hört. Dann vermindert man die Lautstärke wieder bis der Prüfling das Verschwinden des Tones angibt und markiert auch diesen Wert. So ergibt sich ein oberer und unterer Schwellenwert, deren Differenz ca. 10 bis 15 dB

beträgt.

Lenhardt beschreibt das "Eingabeln" als mögliches Vorgehen beim Audiometrieren. Hierbei gibt der Untersucher zunächst einen Ton im unhörbaren Bereich vor und steigert langsam die Lautstärke, bis der Patient angibt, den Ton sicher zu hören. Jetzt vermindert der Prüfer, ähnlich wie schon von Meister beschrieben, die Intensität und wartet, bis der Prüfling den Ton nicht mehr wahrnimmt. Nun wird die Lautstärke erneut aus dem Unhörbaren gesteigert. Meist hört der Patient in diesem zweiten Durchgang den Ton früher als beim erstenmal. Dieser Vorgang wird als "Eingabeln" bezeichnet. Erstellt der Untersucher die Hörschwellen-Kurve nach dem erstmaligen Hören eines aus dem unterschwelligen Bereich kommenden Tones, so liegen die Angaben bei höheren dB-Werten als nach dem Eingabel-Verfahren.

Die Frankfurter Hörschwelle liegt aber bei niedrigeren dB-Werten, und gerade hier wurde weder gegabelt noch das Verschwinden des Tones aus dem hörbaren Bereich aufgezeichnet, so daß auch diese mögliche Ursache entfällt.

Theoretisch hätten wir schließlich noch Stichprobenuntersuchungen in den einzelnen Kliniken anschließen können, doch praktisch war dies nicht durchführbar, da die jeweiligen Kliniken der Untersuchung einer ausreichend großen Gutachten-Population

auf ihren Geräten niemals zugestimmt hätten. Außerdem bleibt die Frage nach der Notwendigkeit solcher "Kontrollen", denn nach Plath entspricht eine Hörverlust-Kurve von 10 dB durchaus noch einem normalen Hörvermögen, d.h. 10 dB als mittlere Abweichung vom Mittelwert sind noch im Normbereich.

Summen - Sprachaudiogramm

Die vier Gesamtsprachaudiogramme (Abb.2), gewonnen aus den mittleren Verständlichkeitswerten (%), die sich bei den Schallstärken 60, 80, 90 und 100 dB ergeben haben, entsprechen weitgehend dem jeweiligen Summentonaudiogramm. Qualitativ verlaufen alle Kurven sehr ähnlich, die von Heidelberg und Münster sind praktisch deckungsgleich. Die Bonner Kurve liegt parallel zu beiden, jedoch insgesamt um ca. 5 Prozentpunkte zu hoch. Die aus dem Frankfurter Material gewonnene Summenwortverständniskurve verläuft bei 60 dB um 10 bis 15 Prozentpunkte höher als die anderen drei Kurven, zwischen 80 und 90 dB paßt sie sich allmählich an, wird dann aber bei 100 dB um 5 bis 10 Prozentpunkte zu schlecht, so daß sich ein größerer Diskriminationsverlust als in den drei anderen Populationen ergibt. Der mittlere Diskriminationsverlust beträgt in:

Münster: 20,8 %

Heidelberg: 17,4 %

Bonn: 12,9 %

Frankfurt: 23,3 %

Für alle vier Kliniken zusammen: 18,6 %.

Als durchschnittlicher Hörverlust für Zahlen (a_1) ergeben sich in:

Münster: 24,9 dB

Heidelberg: 28,9 dB

Bonn: 24,5 dB

Frankfurt: 21,8 dB

Für alle vier Kliniken zusammen: 25,2 dB.

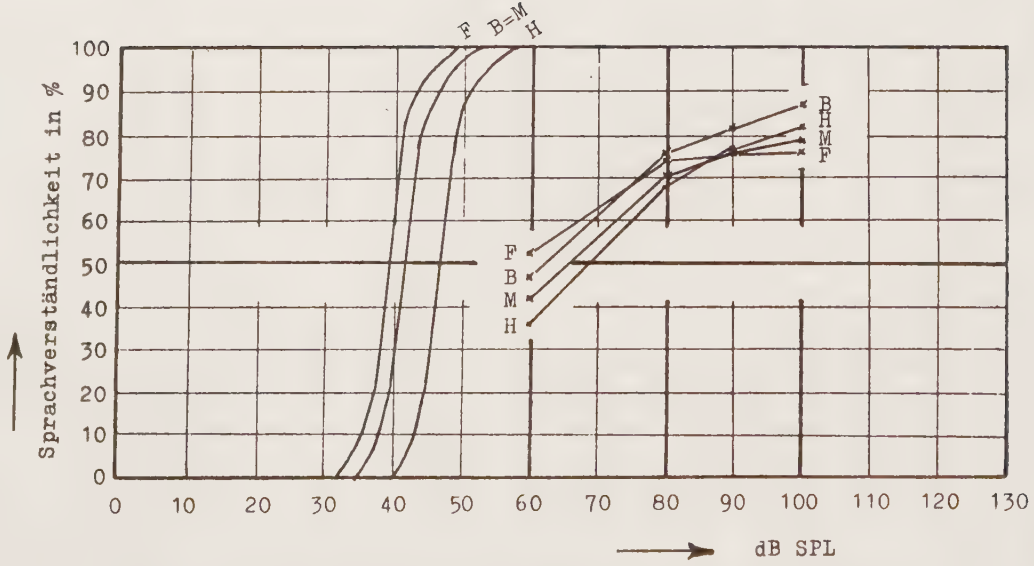

Abbildung 2: Gesamtsprachaudiogramme der einzelnen Kliniken

In Tab.3 sind alle errechneten Mittelwerte noch einmal zusammengefaßt:

Tabelle 3

	n	a_1 dB	DV %	Schallstärke dB	Verständlichkeit in %
Münster	999	24,9	20,8	60	40,9
				80	70,6
				90	76,6
				100	79,2
Heidelberg	1182	28,9	17,4	60	36,2
				80	68,1
				90	76,7
				100	82,6
Bonn	997	24,5	12,9	60	46,3
				80	76,0
				90	81,9
				100	87,1
Frankfurt	998	21,8	23,3	60	52,3
				80	74,6
				90	76,3
				100	76,7

n Anzahl der Ohren
a_1 Hörverlust für Zahlen
DV Diskriminationsverlust

Auch hier liegt eine Differenz zwischen der Anzahl der insgesamt aufgenommenen und den in die Sprachaudiogramm-Auswertung einbezogenen Ohren vor, wenn die Angaben bei bestimmten Lautstärke-Werten fehlten

oder das Sprachaudiogramm gar nicht erstellt worden war.

Folgerungen aus den Durchschnittsaudiogrammen

Wir waren bemüht, zu dieser Großuntersuchung ausschließlich Gutachten mit erwiesenem Lärmschaden heranzuziehen. Die Durchschnitts-Ton- bzw. Sprachaudiogramme zeigen entsprechende Charakteristika, wie z.B. der Steilabfall aller Kurven im Tonaudiogramm. Die Münsterer Kurve nimmt sich hier zwar nicht aus, doch deutet sich ein gewisser Übergang von Steilabfall zur Senke an.
Allgemein signalisiert der Übergang einer Hochtonsenke zu Steilabfall ein Übergreifen des Schadens auf die weniger dafür prädisponierten Frequenzen und kann dabei auch zu größerer persönlichen Belastung des Patienten führen, da der Hörverlust immer mehr auf das Sprachfeld übergreift (Plath). Liegt ein vollständiger Steilabbruch vor, so werden die oberen Frequenzen gar nicht mehr wahrgenommen. Damit ist die Verständlichkeit für Flüstersprache stark eingeschränkt, da die Flüstersprache vorwiegend aus hohen Frequenzen, Zischlauten und Konsonanten aufgebaut ist, während in der lauten Umgangssprache Vokale dominieren (Paulsen).

Begutachtung nach dem Sprachaudiogramm

Zur Begutachtung einer Lärmschwerhörigkeit anhand des Sprachaudiogramms ist Tabelle 4 inzwischen von den Berufsgenossenschaften allgemein anerkannt und bildet einen Eckpfeiler in der Begutachtung. Das Gesamtwortverstehen Ws ergibt sich aus der Summe der Wortverständlichkeiten bei 60, 80 und 100 dB.

w_s \ a_l		ab 20	ab 25	ab 30	ab 35	ab 40	ab 45	ab 50	ab 55	ab 60	ab 65	ab 70
	20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ab	20	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	100
ab	35	90	90	90	90	90	90	90	90	90	95	100
ab	50	80	80	80	80	80	80	80	80	90	95	100
ab	75	70	70	70	70	70	70	70	80	90	95	100
ab	100	60	60	60	60	60	60	70	80	90	95	
ab	125	50	50	50	50	50	60	70	80	90		
ab	150	40	40	40	40	50	60	70	80			
ab	175	30	30	30	30	50	60	70				
ab	200	20	20	20	30	50	60					
ab	225	10	10	20	30	50						
ab	250	0	10	20	30							

a_l = Hörverlust für Zahlen in dB

w_s = Gesamtwortverstehen

Tabelle 4: Prozentualer Hörverlust aus dem Sprachaudiogramm nach Boenninghaus und Röser (1973)

Begutachtung nach dem Tonaudiogramm

Hierzu gibt es eine Reihe von Vorschlägen, nach denen in den letzten Jahren verfahren wurde.

Die bisher gängigen Formeln und Tabellen sollen hier beispielhaft auf die entsprechenden Werte aus den zugrundegelegten 2062 Gutachten angewendet werden.

Der prozentuale Hörverlust aus dem Sprachaudiogramm wird mittels Tabelle 4 nur einmal festgelegt und gilt als Bezugspunkt für die verschiedenen Hörverlustwerte aus dem Tonaudiogramm, die nach unterschiedlichen Gesichtspunkten aus der Tonschwellenkurve abgeleitet werden. Die Methode ist umso besser, je mehr der Hörverlust aus dem Tonaudiogramm mit dem aus dem Sprachaudiogramm übereinstimmt. Dabei kann dem Sprachaudiogramm eine etwas größere Wichtung zukommen, weil es die eigentliche Einbuße des Patienten widerspiegelt und die komplexeren Hörvorgänge miterfaßt (s. Einleitung). Dieses Verhältnis Sprachaudiogramm zu Tonaudiogramm soll im nächsten Kapitel für die einzelnen Verfahren untersucht werden.

Kapitel II

1. 0 Allgemeines Vorgehen

Ausgangspunkt ist das Sprachaudiogramm. Für jedes in die Betrachtung einbezogene Ohr wird zunächst anhand der Tabelle 4 aus dem Hörverlust für Zahlen (a_1) und dem Gesamtwortverstehen (w_s) der prozentuale Hörverlust aus dem Sprachaudiogramm ermittelt. Mit Ausnahme von 95% ergibt sich hier der prozentuale Hörverlust nur in glatten 10er-Stufen. Alle Fälle einer Population mit der gleichen sprachaudiometrischen Hörverlustzahl bilden zusammen eine Gruppe. Für jede Gruppe getrennt wird nach dem jeweiligen Vergleichsverfahren für jedes Ohr einzeln aus der Tonschwellenkurve der prozentuale Hörverlust festgestellt und aus all diesen Werten wiederum der arithmetische Mittelwert und die jeweilige Standardabweichung errechnet.

In der Tabelle (z.B.Tab.5) erscheinen dann für jede Population drei Spalten:

1) die Anzahl der Fälle (n), bei denen sich aus dem Sprachaudiogramm ein bestimmter Hörverlust ergeben hat,
2) der prozentuale Hörverlust aus dem Tonaudiogramm als Mittelwert ($\bar{y}$) aus diesen n Fällen,
3) die dazugehörige Standardabweichung (s) .

In der letzten Zeile (Gesamt) findet sich die Summe von n für die gesamte Population, der Gesamtmittelwert von $\bar{y}$, der gleichzeitig den mittleren prozentualen Hörverlust aus dem Tonaudiogramm für die jeweilige Population darstellt, und der Mittelwert der Standardabweichungen in Spalte 3.

Die Korrelation des jeweiligen Auswerteverfahrens zeigt sich schließlich in der entsprechenden graphischen Darstellung (z.B.Abb.3,S.39) wo der Grad der Übereinstimmung des tonaudiometrischen Hörverlustes mit dem sprachaudiometrischen - für jede Population getrennt - zum Ausdruck kommt.

Die durchgezogene graue Linie mit einer Steigung von 45^{o} wird immer dann erreicht, wenn die beiden Auswerteverfahren (aus dem Sprachaudiogramm und aus dem Tonaudiogramm) zu genau dem gleichen Ergebnis führen.

Das Resultat ist für die einzelnen Populationen wie folgt eingezeichnet:

Münster .....

Heidelberg ———

Bonn ——

Frankfurt ------

Um die Übersicht zu behalten, wurde die Standardabweichung nicht mit übertragen, sie muß ggf. der entsprechenden Tabelle entnommen werden.

1.1 Verfahren nach R ö s e r 1973

In diesem Verfahren wird der prozentuale Hörverlust aus dem Tonaudiogramm nach einer Formel bzw. nach einer daraus abgeleiteten Tabelle (s.Tab.6,S.43) ermittelt.

Die Formel lautet:

$$HV\ (\%) = \frac{2HV_{1kHz} + HV_{3kHz}}{2} - 15$$

Tabelle 5: Röser nach Formel

HV (%) aus dem Sprachaudiogramm	Münster			Heidelberg			Bonn			Frankfurt		
	n	$\bar{y}$	s	n	$\bar{y}$	s	n	$\bar{y}$	s	n	$\bar{y}$	s
0	190	19,8	± 12,7	233	20,8	± 14,6	221	26,7	± 11,0	250	11,9	± 8,0
10	125	32,9	± 12,3	95	30,2	± 12,7	155	38,4	± 11,0	121	23,0	9,0
20	157	40,0	14,0	163	40,8	13,7	154	46,8	12,6	155	30,9	10,4
30	144	48,7	17,3	110	46,9	13,8	158	56,6	12,8	142	36,8	10,5
4o	112	53,7	15,4	151	54,3	13,4	108	63,0	15,1	122	46,3	12,6
50	79	59,0	15,7	85	61,1	13,0	67	67,8	13,0	76	55,1	12,5
60	55	70,4	16,6	131	63,8	12,6	53	78,0	12,7	64	62,6	12,4
70	45	71,3	14,6	74	73,1	13,6	29	84,2	13,0	23	71,7	18,2
80	34	78,1	14,2	63	74,2	16,2	19	83,5	20,3	25	76,2	17,2
90	19	86,8	19,2	22	79,0	21,0	5	85,0	25,0	5	86,0	5,0
95	13	86,9	20,7	23	91,4	18,6	15	93,5	18,3	10	92,2	11,8
100	23	100,2	17,9	26	109,5	16,6	11	105,6	25,6	5	80,4	37,7
Gesamt	996	46,8	14,8	1176	49,4	14,0	995	50,7	12,8	998	35,0	10,7

Die Auswertung entsprechend 1.0 bringt folgendes Bild:

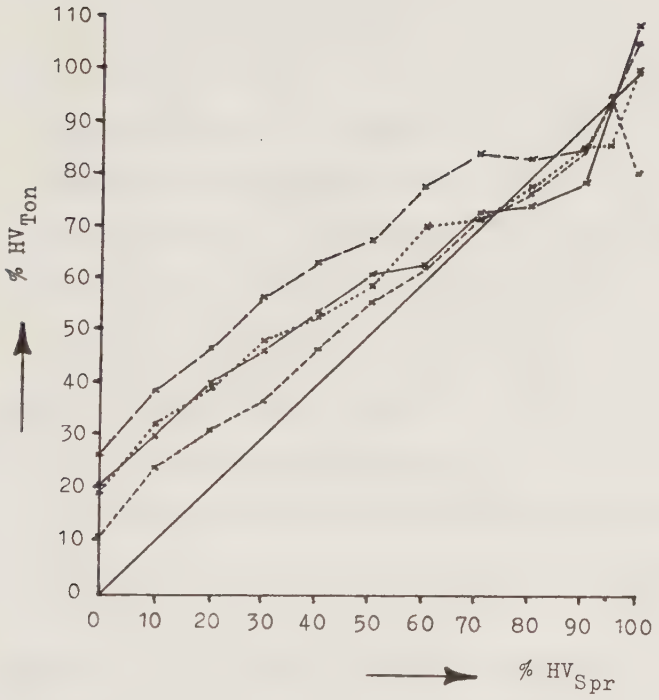

Abbildung 3: Hörverlust aus dem Tonaudiogramm nach Röser (Formel) im Vergleich zum Hörverlust aus dem Sprachaudiogramm, getrennt nach Populationen

..... Münster

——— Heidelberg

— — — Bonn

-------- Frankfurt

Die vier Kurven zeigen einen ziemlich geradlinigen Verlauf bis zu einem Hörverlust für Sprache von 50%, die Kurven von Bonn und Frankfurt sogar bis 70%, haben aber insgesamt eine kleinere Steigung. So entspricht beispielsweise einer Zunahme des prozentualen Hör - verlustes aus dem Sprachaudiogramm von 20% (von 10 zu 30%) eine Zunahme des prozentualen Tonhörverlustes der Frankfurter Population um 13,8% im gleichen Bereich. Der prozentuale Sprachhörverlust zeigt einen rascheren Anstieg als der prozentuale Tonhörverlust, wobei dem Tongehörverlust größere Werte als dem Sprachgehör entsprechen. Alle vier dargestellten Kurven liegen bis 70% (Bonn 80%) Hörverlust aus dem Sprachaudiogramm oberhalb der idealen Geraden. Dies bedeutet, daß einem definierten Hörverlust aus dem Sprachaudiogramm ein größerer Hörverlust aus dem Tonaudiogramm gegenübersteht. Zwischen Ton- und Sprachaudiogramm besteht folgendes Verhältnis:

$$\%\,HV_{Ton} \;:\; \%\,HV_{Spr} = (x + a) \;:\; x$$

wobei "a" nicht für alle x-Werte konstant bleibt,sondern mit zunehmend größer werdendem Hörverlust kleiner wird. Im Bereich x = 70 (für Bonn x = 80) erreicht a den Wert Null und wird dann sogar negativ. Demnach ergibt sich aus dem Tonaudiogramm bei geringgradigen Schwerhörigkeiten ein relativ zu großer prozentualer Hörverlust, bei großen Sprachgehörverlusten kehrt sich dieses Verhältnis um.

1.1.2 Vergleich der einzelnen Populationen untereinander

Abbildung 3 (S.39) zeigt nahezu den gleichen Verlauf der Kurven von Heidelberg und Münster bei Hörverlusten bis 50%. Erst bei 60% Hörverlust weichen sie etwas mehr voneinander ab, doch auch hier liegen beide Kurven innerhalb der gegenseitigen Streuung (s.Tab.5,S.38). Ab 70% schneiden sich beide Kurven mehrfach, divergieren mehr oder weniger, verlassen aber nirgends den Streubereich der Vergleichspopulation.
Das ist anders beim Vergleich der Kurven Bonn und Frankfurt. Sie verlaufen zwar bis 70% Hörverlust (aus dem Sprachaudiogramm) annähernd parallel, aber sie haben einen zu großen Abstand voneinander, insofern als sie außerhalb des Bereichs der gegenseitigen Standardabweichung liegen (ausgenommen 50%).
Erst ab 80% zeigt sich eine zufriedenstellende Übereinstimmung. Der mittlere Hörverlust aus dem Tonaudiogramm weicht für Frankfurt bei einem sprachaudiometrischen Hörverlust von 100% mit 80,4% und einer Standardabweichung von 37,7 stark von den anderen drei Kurvenwerten ab, doch ist hierfür vermutlich die geringe Anzahl der Fälle verantwortlich.

1.1.3 Spezieller Vergleich der Kurven mit der Idealen

Die Kurve von Frankfurt verläuft relativ nah an der Idealen, für sprachaudiometrische Hörverluste von 30 bis 100% liegt die Ideale sogar innerhalb der Streubreite dieser Kurve und kann somit ebenfalls

als fast ideal angesehen werden. Wie Abbildung 3 zeigt, gilt ähnliches für die Ergebnisse von Münster und Heidelberg nur bedingt. Die Ideale liegt innerhalb der Streubreite der Heidelberger Kurve bei sprach-audiometrischen Hörverlusten ab 5o% und innerhalb der Streubreite der Münsterer Kurve bei Hörverlusten ab 4o%.

Die Auswertung von Bonn ergibt, daß die ideale Gerade nur bei großer Schwerhörigkeit (ab 80% Hörverlust) im Bereich $y \pm s$ liegt, bei geringer Schwerhörigkeit aber die oben aufgeführten Abweichungen zeigt.

Die Streubreite um den jeweiligen Mittelwert ist besonders in den Bereichen geringer Schwerhörigkeit recht groß und beträgt z.T. 60 bis 70% des Mittelwertes (z.B. Heidelberg für 0%: $\bar{y} = 20,8 \quad s = 14,6$). Doch lassen sich auch hier örtliche Schwerpunkte erkennen. So sind die Streubreiten um die arithmetischen Mittelwerte für Schwerhörigkeiten bis 60% bei der Frankfurter Population am kleinsten, während sie für Münster und Heidelberg in diesem Bereich am größten sind. Die Streubreiten für die Bonner Mittelwerte liegen (geringfügig) über den Werten für die Standardabweichung von Frankfurt.

1.1.4 Vergleich Formel - Tabelle

Anhand der Formel von Seite 37 stellte Röser 1973 die nachfolgend angeführte Tabelle 6 auf, die die Begut-achtung erleichtern soll.

Tabelle 6

Tonhörverlust bei 3000 Hz dB	Tonhörverlust bei 1000 Hz 0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0	0	5	15	25	35					
10	0	0	10	20	30	40	50				
20	0	5	15	25	35	45	55	65			
30	0	10	20	30	40	50	60	70	80		
40	5	15	25	35	45	55	65	75	85	93	
50	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	100
60	15	25	35	45	55	65	75	85	93	95	100
70	20	30	40	50	60	70	80	90	95	100	100
80	25	35	45	55	65	75	85	93	95	100	100
90	30	40	50	60	70	80	90	95	100	100	100
100	35	45	55	65	75	85	93	95	100	100	100

Unter Zugrundelegen dieser Tabelle haben wir gemäß 1.0 (Allgemeines Vorgehen) alle Gutachten der vier Populationen erneut ausgewertet. Das Ergebnis zeigen Abbildung 4 (S.47) und die Tabelle 7 (S.46). Speziell diese Untersuchung sollte zeigen, wie groß der Unterschied der etwas ungenaueren Tabelle 6 zu der präziseren Formel in der Endauswertung ist. Mit Hilfe der Formel nämlich läßt sich zu jedem speziellen Tonhörverlust ein exakter prozentualer Hörverlust berechnen. Die Tabelle 6 hingegen berücksichtigt den Tonhörverlust nur in Zehnerschritten, Zwischenwerte müssen interpoliert werden.
Ein zweiter Unterschied besteht in der Tatsache, daß beim Berechnen mit Hilfe der Formel rein mathematisch auch negative Tonhörverlust-Prozentzahlen entstehen können.

Dies besagt jedoch nur, daß das Tonhörvermögen des betreffenden Patienten überdurchschnittlich gut ist. In der Tabelle wird dieses Faktum als 0% Tonhörverlust bewertet, da es für die Begutachtung von geringer Bedeutung ist, ob ein Patient 0% Tonhörverlust oder ein noch besseres Hörvermögen hat, es interessiert nur, ob ein Tonhörverlust vorliegt.

Der dritte Unterschied tritt bei Tonhörverlusten auf, die einer völligen Taubheit entsprechen, nämlich bei 100%. Hier kann es rechnerisch zu einem Tonhörverlust von mehr als 100% kommen, der allerdings in der Untersuchung nur von akademischem Interesse ist und in der Praxis keine Auswirkungen hat. Im Extremfall könnten mit Hilfe der Formel Werte von minimal - 15% und maximal + 135% auftreten. Die Formel führt zu einer wesentlich größeren Differenzierung der prozentualen Tonhörverluste als die Tabelle,die mehr in Gruppen zusammengefaßt ist. Diese größere Differenzierung findet auch ihren Ausdruck in der Streubreite des je - weiligen Hörverlustes. Für die Hörverluste zwischen 70 und 100% ist die Streubreite der nach der Formel ermittelten Hörverluste erheblich größer als der aus der Tabelle ermittelten. Bei geringgradigen Hörverlusten läßt sich diese Beobachtung nicht bestätigen. Hier ist die Anzahl der entsprechenden Ohren zu groß, so daß die wenigen,überdurchschnittlich gut hörenden Ohren keine Auswirkung mehr zeigen.

Die mittleren Hörverluste aus der Tabelle liegen alle innerhalb der Streubreite der entsprechenden Hörverluste nach der Formel.

Auch rein qualitativ zeigt sich (s.Abb.4) ein zur Formel adäquater Kurvenverlauf. Bemerkenswert ist hier auch der Schnittpunkt mit der Idealen: In beiden Abbildungen (3 und 4) schneiden die Kurven bei einem Abszissenwert von 70 bzw.80.
In den weiteren Untersuchungen wird, sofern eine Formel vorgegeben ist, nur diese berücksichtigt.

Tabelle 7: Röser nach Tabelle

HV (%) aus dem Sprachaudiogramm	Münster			Heidelberg			Bonn			Frankfurt		
	n	$\bar{y}$	s	n	$\bar{y}$	s	n	$\bar{y}$	s	n	$\bar{y}$	s
0	190	20,9	±13,9	233	21,0	±15,5	221	27,1	±11,7	250	8,2	±10,6
10	125	34,0	12,4	95	31,0	13,5	155	39,4	11,8	121	23,8	9,6
20	157	40,8	14,7	163	41,4	14,0	154	47,6	13,4	155	32,1	10,8
30	144	49,4	17,6	110	46,8	13,3	158	57,3	12,9	142	37,8	10,6
40	112	53,9	15,2	151	55,1	13,2	108	63,4	15,1	122	46,7	13,1
50	79	59,4	14,9	85	61,7	13,8	67	68,1	12,7	76	55,9	12,1
60	55	70,4	15,7	131	64,4	12,8	53	77,9	11,7	64	63,5	12,5
70	45	71,7	13,8	74	73,4	12,6	29	82,6	10,4	23	71,1	16,3
80	34	77,3	11,6	63	74,0	14,9	19	81,6	16,3	25	76,6	15,1
90	19	84,4	16,9	22	77,1	18,5	35	81,6	16,4	5	85,6	4,7
95	13	84,9	10,1	23	87,5	12,7	15	87,9	14,6	10	89,0	9,7
100	33	93,0	9,1	26	95,7	7,6	10	91,0	14,3	5	74,0	31,3
Gesamt	996	47,2	14,5	1176	49,3	13,8	995	50,9	12,7	998	34,6	11,4

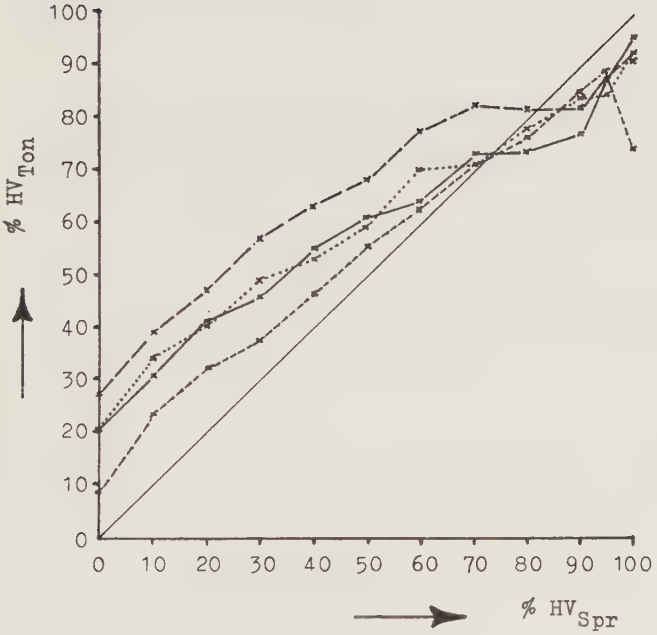

Abbildung 4: Hörverlust aus dem Tonaudiogramm nach Röser (Tabelle) im Vergleich zum Hörverlust aus dem Sprachaudiogramm, getrennt nach Populationen

..... Münster

——— Heidelberg

— — — Bonn

-------- Frankfurt

2.1 Verfahren nach v. L ü p k e (1)

Dieser Vorschlag besteht in enger Anlehnung an die im Vorausgegangenen benutzte Formel und lautet:

$$HV(\%) = \frac{5}{6} \cdot \frac{2HV_{1kHz} + HV_{3kHz}}{2} - 16$$

Auch hier werden die Tonhörverluste nur bei 1 kHz und 3 kHz berücksichtigt, doch wird die Subtraktionskonstante um 1 vergrößert und der Hauptteil um den Faktor $\frac{5}{6}$ erweitert. Im Vergleich zur Formel Röser 1973 führt diese Abänderung zu einer Verkleinerung der Prozentzahlen, besonders durch den Faktor $\frac{5}{6}$ bedingt.

2.1.1 Allgemeine Beurteilung

Zunächst erfolgt gemäß 1.0 die Aufstellung von Tabelle 8. Abbildung 5 stellt die Tabelle 8 graphisch dar. Alle vier Kurven zeigen einen annähernd parallelen Verlauf bis zum x-Koordinatenwert 70. Sie schneiden die Ideale zwischen den Werten 25 und 60. Bei geringgradiger Schwerhörigkeit (Hörverlust maximal 40%) liegen die vier Kurven mit Ausnahme von Frankfurt oberhalb der angestrebten idealen Kurve, d. h. unterschiedliche Bewertung durch Ton- und Sprachaudiogramm. Im Bereich 40 bis 60% Sprachhörverlust (mittelgradige Schwerhörigkeit) verläuft die Ideale zwischen den vier Kurven, die erst bei hochgradiger Schwerhörigkeit und Taubheit (oberhalb 60% Sprachhörverlust)

zunehmend, in Form einer Senke, abermals von der Geraden abweichen, jetzt jedoch nach unten. Zwischen 95 und 100% Sprachhörverlust erreichen drei Kurven (ausgenommen Frankfurt) ihre größte Steigung und nähern sich so wieder mehr der Idealen an.

2.1.2 Vergleich der einzelnen Populationen untereinander

Auffallend ist der fast deckungsgleiche Verlauf der Kurven von Heidelberg und Münster. Nur bei 60 und zwischen 80 und 90%igem Sprachhörverlust ist eine geringgradige Abweichung zu beobachten. Bis 40% laufen beide Kurven oberhalb der Idealen, fallen dann aber rasch und ausladend darunter. Die Werte aus Heidelberg liegen zwischen 80 und 90% sogar tiefer als das Frankfurter Ergebnis. Hiervon abgesehen liegt die Kurve der Frankfurter Population deutlich unterhalb der drei anderen Kurven, vor allem im Bereich geringer und mittelgradiger Hörverluste. Weiter fällt auf, daß die Frankfurter Kurve weitgehend linear, also immer mit der gleichen Steigung, verläuft, abgesehen vom Bezugspunkt 100%, der jedoch mit n = 5 keine Aussagekraft besitzt. Bezogen auf die Idealkurve, liegen die Frankfurter Werte schwerpunktmäßig ausgesprochen zu tief, nur im Bereich 0-20% wird die Idealkurve überschritten. Das kommt auch in Tabelle 8 im enorm kleinen mittleren prozentualen Hörverlust aus dem Tonaudiogramm (26.5%) zum Ausdruch, während die anderen Populationen nur Werte über 35% erbrachten. Eine solche Abweichung war zwar aus dem gemittelten Tonaudiogramm in Abb. 1 vorauszusehen, jedoch kommt die Abweichung

infolge der speziellen Auswertung besonders deutlich zum Ausdruck.

Das umgekehrte Verhalten war für die Population Bonn zu erwarten. Die Kurve liegt im wesentlichen deutlich oberhalb der drei anderen, erst ab 90% Sprachhörverlust fallen alle 4 Kurven praktisch zusammen. Dadurch daß die Bonner Kurve bei 60 und 70% besonders hohe Werte erreicht, ergibt sich beim Abszissenwert 70 ein deutlicher Knick, die Kurve verläuft über 20 Prozentpunkte hin praktisch horizontal. Ganz gleich, ob der Hörverlust aus dem Sprachaudiogramm 70 oder 90% beträgt, der Hörverlust aus dem Tonaudiogramm ändert sich nicht. Zufälligkeiten kommen kaum in Betracht, dafür sind die Fallzahlen zwischen 60 und 80% zu groß, nämlich zwischen 19 und 53. Betrachten wir wieder den Bezug zur Idealkurve: Aus der Bonner Population ergeben sich im Bereich 0-40% Sprachhörverlust zu große Bewertungen nach dem Tonaudiogramm, zwischen 50 und 70% stimmen sie auffallend überein, darüberhinaus ergeben sich deutlich schlechtere Werte.

Für Münster und Heidelberg liegt der Wechsel von "zu hoch" nach "zu tief" bei geringeren Hörverlusten. Bis 30% sind die Verlustzahlen aus dem Tonaudiogramm zu hoch, zwischen 40 und 50% stimmen sie überein und ab 60% Sprachhörverlust sind sie zu tief. Die Frankfurter Kurve hat ihren Übergang noch weiter unten: Bis 10% zu hohe Werte, bei 20 und 30% Übereinstimmung und danach nur noch zu tief liegende Ergebnisse.

Tabelle 8: Formel nach v. Lüpke (1)

HV (%) aus dem Sprachaudiogramm	Münster			Heidelberg			Bonn			Frankfurt		
	n	$\bar{y}$	s	n	$\bar{y}$	s	n	$\bar{y}$	s	n	$\bar{y}$	s
0	190	13,8	± 9,9	233	14,9	±10,9	221	18,7	± 9,0	250	9,9	± 5,8
10	125	23,8	10,2	95	21,7	10,3	155	28,3	9,2	121	15,5	7,4
20	157	29,7	11,7	163	30,3	11,4	154	35,3	10,5	155	22,3	8,6
30	144	36,9	14,3	110	35,4	11,5	158	43,5	10,8	142	27,1	8,6
40	112	41,1	12,9	151	41,6	11,1	108	48,9	12,6	122	34,8	10,5
50	79	45,6	13,1	85	47,3	10,9	67	52,9	10,8	76	42,3	10,4
60	55	55,0	13,9	131	49,5	10,5	53	61,3	10,5	64	48,5	10,4
70	45	55,7	12,2	74	57,3	11,3	29	66,3	10,7	23	56,0	15,0
80	34	61,5	11,7	63	58,3	13,6	19	65,9	16,7	25	60,0	14,2
90	19	68,8	15,9	22	62,2	17,4	5	67,6	20,9	5	67,6	4,2
95	13	68,9	17,1	23	72,7	15,5	15	74,1	15,2	10	73,2	10,0
100	23	79,8	14,8	26	87,4	13,8	11	84,4	21,2	5	63,4	31,6
Gesamt	996	35,6	12,2	1176	37,8	11,4	995	38,6	10,6	998	26,5	8,6

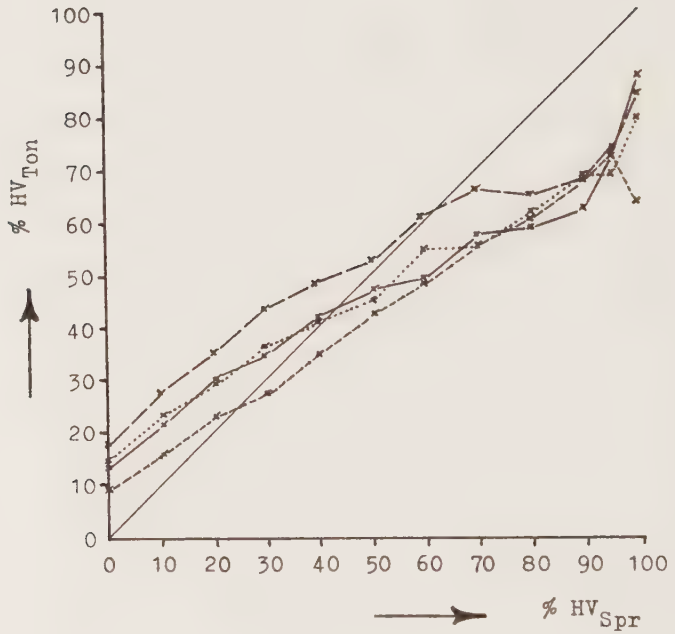

Abbildung 5: Hörverlust aus dem Tonaudiogramm nach v. Lüpke (1) im Vergleich zum Hörverlust aus dem Sprachaudiogramm, getrennt nach Populationen

..... Münster

——— Heidelberg

— — — Bonn

------- Frankfurt

2.2 Verfahren nach einem zweiten Vorschlag von v. L ü p k e

In diesem Vorschlag berüxksichtigt von Lüpke erstmals drei Frequenzbereiche des Tonaudiogramms: 0,5; 1 und 2 kHz. Diese neue Formel, die eine Berechnung des prozentualen Hörverlustes aus dem Tonaudiogramm ermöglichen soll, lautet:

$$HV\ (\%) = \frac{HV_{0,5kHz} + HV_{1kHz} + HV_{2kHz}}{2} - 16$$

Die Konstante $\frac{5}{6}$ aus dem vorangegangenen Vorschlag entfällt. Die zuvor doppelte Bewertung des Tonhörverlustes bei 1 kHz wird ersetzt durch Einführen eines dritten Tonhörverlustes.

2.2.1 Allgemeine Beurteilung und Vergleich der Kurven zueinander

Auffallend ist der große Abstand der in Abbildung 6 dargestellten Kurven zueinander. Bei 30% Sprachhörverlust ist der prozentuale Hörverlust aus dem Tonaudiogramm in der Bonner Stichprobe fast doppelt so groß wie in der Frankfurter Stichprobe (vergl. Tab. 9). Lediglich bei 90% Sprachhörverlust erreichen beide Stichproben ähnliche Werte, um schließlich bei 100% maximal zu divergieren.
Die Frankfurter Population zeigt für den prozentualen Tonhörverlust bei 0 und 10% Sprachhörverlust fast die gleichen Werte. Erst bei größerer

Schwerhörigkeit steigt der Tonhörverlust, zwar langsamer als der Sprachhörverlust, aber mit recht konstantem Steigungsmaß an. Zwischen den Abszissenwerten 10 und 70 verhält sich die Kurve Bonn ähnlich, nur sie liegt insgesamt deutlich höher. Der Knick der Frankfurter Kurve bei 100% Hörverlust (aus dem Sprachaudiogramm) nach unten und die große Standardabweichung in diesem Bereich müssen sicherlich auf die geringe Anzahl an Gutachten zurückgeführt werden, die mit 90, 95 und 100%igem Hörverlust zur Auswertung zu Verfügung standen.
Der prozentuale Hörverlust von Frankfurt liegt relativ niedriger als der von Münster und Heidelberg, erst ab x=80 bzw. 85 wird er kurzfristig größer, jedoch bleibt er stets kleiner als der prozentuale Hörverlust von Bonn.
Bonn beginnt mit parallel zur Idealkurve gleichmäßig ansteigenden Werten, die erst zwischen 70 und 90% annähernd stagnieren, zwischen 90 und 100% aber wieder steil ansteigen. Die Kurve von Frankfurt verläuft mit ihren Mittelwerten bei geringer und mittlerer Schwerhörigkeit nicht mehr im Bereich der Standardabweichung von Bonn (ausgenommen 0%); erst bei 80, 90 und 95% Sprachhörverlust ändert sich dieser Umstand.
Wie in den vorausgegangenen Untersuchungen liegen auch hier die prozentualen Tonhörverluste von Münster und Heidelberg sehr dicht beieinander. Die größte

Differenz besteht bei 60% Sprachhörverlust, mit nahezu 10% Unterschied.

2.2.2 Spezieller Vergleich der Kurven mit der Idealen

Die errechneten Tonhörverlustprozentzahlen von Bonn liegen bis zu einem Sprachhörverlust von 70% weit oberhalb der sogen. "Idealen". Es wird also im gesamten geringen und mittleren Schwerhörigkeitsbereich der Tonhörverlust zu hoch bewertet. Bezieht man die Standardabweichung in die Überlegungen mit ein, so ändert sich das Bild ein klein wenig, indem ab 40% Sprachhörverlust die Ideale wenigstens innerhalb der Streuung liegt. Eine grundsätzliche Abweichung besteht deshalb nur im Bereich von 0 bis 40%.
Die Kurven von Heidelberg und Münster zeigen einen größeren übereinstimmenden Bereich. Hier liegt die Ideale im Bereich von 10 bis 70% innerhalb der Standardabweichung. Dies bedeutet, daß die hier diskutierte Formel in Heidelberg und Münster in dem Sprachhörverlust-Bereich, der am häufigsten zur Begutachtung ansteht, zu keiner grundsätzlichen Differenz zwischen Ton- und Sprachgehörbeurteilung führt.
Obwohl die Frankfurter Stichprobe insgesamt zu verhältnismäßig sehr geringen Tonhörverlustprozenten führt, schließt die Standardabweichung dennoch im Bereich 10-50% die Ideale mit ein.

Tabelle 9: Formel nach v.Lüpke (2)

HV (%) aus dem Sprachaudiogramm	Münster			Heidelberg			Bonn			Frankfurt		
	n	$\bar{y}$	s	n	$\bar{y}$	s	n	$\bar{y}$	s	n	$\bar{y}$	s
0	190	11,0	± 9,2	233	10,3	±11,2	221	13,8	± 9,7	250	9,8	± 5,3
10	125	20,1	13,1	95	19,1	11,2	155	25,8	10,5	121	10,4	6,9
20	157	28,9	13,2	163	28,7	14,8	154	33,8	11,4	155	17,8	9,2
30	144	37,0	16,5	110	34,0	12,0	158	43,5	12,0	142	24,1	9,3
40	112	42,2	15,1	151	41,6	12,7	108	50,0	12,5	122	30,7	10,6
50	79	48,6	13,9	85	49,4	12,4	67	55,2	11,2	76	41,0	10,9
60	55	59,9	16,1	131	50,7	11,6	53	62,9	11,6	64	47,6	11,1
70	45	62,5	13,1	74	61,1	12,9	29	72,2	13,8	23	57,3	16,4
80	34	68,0	10,7	64	63,3	14,9	19	73,5	19,1	25	64,2	13,1
90	19	73,4	16,3	22	65,6	20,1	5	76,2	24,9	5	75,8	4,8
95	13	81,3	15,8	23	79,9	15,8	15	84,5	18,3	10	76,8	7,3
100	23	91,5	13,4	26	98,7	15,6	11	99,7	24,8	5	70,4	37,1
Gesamt	996	36,1	13,3	1176	37,5	12,8	995	38,0	11,6	998	24,3	8,7

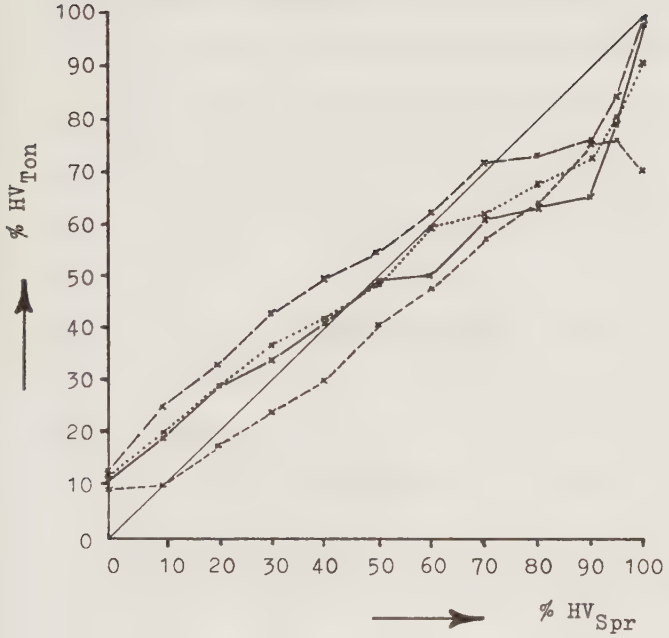

Abbildung 6: Hörverlust aus dem Tonaudiogramm nach v. Lüpke (2) im Vergleich zum Hörverlust aus dem Sprachaudiogramm, getrennt nach Populationen

..... Münster

——— Heidelberg

— — — Bonn

-------- Frankfurt

2.3 Weiteres Verfahren nach v. L ü p k e (3)

Nachdem sich v. Lüpke mit seinem 1. Vorschlag auf die gleichen Frequenzen wie Röser, nämlich 1 kHz und 3 kHz, bezogen hatte, verlegte er den Schwerpunkt der Auswertung zunächst in einen tieferen Frequenzbereich: 500 Hz, 1 kHz und 2 kHz. Jetzt im 3. Verfahren geht er wieder auf den Ausgang zurück, nur füllt er die ursprüngliche Lücke, 2 kHz, aus.
Die neue Formel bezieht sich auf die Frequenzen 1 kHz, 2 kHz und 3 kHz und lautet:

$$HV\ (\%) = \frac{HV_{1kHz} + HV_{2kHz} + HV_{3kHz}}{2} - 37$$

Alle drei Frequenzen werden gleich stark bewertet, die Konstante wurde um 21 Prozentpunkte erhöht.

2.3.1 Allgemeine Beurteilung und Vergleich der Kurven untereinander

Die Ergebnisse bei Anwendung der Formel 3 sind in Tab. 10 bzw. Abb. 7 dargestellt.
Bei geringen Hörverlusten (etwa bis 40%) verlaufen alle 4 Kurven ziemlich parallel und haben untereinander ungefähr den gleichen Abstand von je 3 bis 5 Prozentpunkten. Die Bonner Population zeigt den größten prozentualen Tonhörverlust, ihr folgen Münster, dann Heidelberg und mit dem niedrigsten Hörverlust Frankfurt. Diese Relation entspricht in etwa dem Gesamtprofil der Tonhörverluste in Abbildung 1.

Nach höheren Hörverlusten hin kommen sich die Kurven Münster, Heidelberg und Frankfurt weit näher, nur das Ergebnis aus Bonn verläuft durchweg am höchsten. Erst ab 90% trifft sich alles, allerdings liegen die Werte hier insgesamt äußerst niedrig.
Die Frankfurter Kurve hat zwei Besonderheiten in ihrem sonst relativ gleichmäßigen Kurvenbild, die sich z.T. auch in Abbildung 6 erkennen lassen:
Eine Senke bei 10% und eine Spitze bei 95% Sprachhörverlust, beides ragt aus dem Gesamtbild heraus. Auffällig ist hierbei auch die geringe Standardabweichung von nur 9,1; ähnlich kleine Werte treten bei $x = 30$ und $x = 90$ auf (zu $x = 90$ gehören aber nur 5 Basiswerte).
Der Kurvenverlauf von Bonn gibt qualitativ die Ergebnisse des Gesamtprofils wieder: Hier besteht der größte prozentuale Tonhörverlust (bis $x = 85$).
Nach einem leicht terrassenförmigen Anstieg bis zu dem Abszissenwert 60 verläuft die Kurve fast horizontal einschließlich dem x-Wert 90. Erst danach werden die Zahlenwerte für den prozentualen Tonhörverlust wieder größer.
Alle vier Kurven zeigen einen sehr ähnlichen Verlauf. Ausgenommen bei den x-Werten 10, 30 und 60 liegen die drei Kurven Münster, Heidelberg und Frankfurt im Bereich der Standardabweichung von Bonn.

2.3.2 Spezieller Vergleich der Kurven mit der Idealen

Obwohl die Bonner Kurve als Außenseiter erscheint,

schließt der Bereich der Standardabweichung ab 40% Sprachhörverlust die Ideale mit ein, darunter ist die Abweichung zu groß.

Wesentlich günstiger fällt die Bewertung der Frankfurter Population aus. Hier liegt die Ideale zwischen 10 und 80% und bei 100% innerhalb der Streubreite, nur bei 0, 90 und 95% Sprachhörverlust erbringt das Tonhörvermögen zu kleine bzw. zu große Werte. Immerhin liegen 75% der Einzelwerte der Frankfurter Population innerhalb des zulässigen Streubereiches, in dem sich das Bewertungsverhältnis Ton- zu Sprachaudiogramm nicht grundsätzlich unterscheidet.

Noch besser ist das Ergebnis der Münsteraner Population. Hier sind alle Tonhörverluste zwischen 10 und 90% und bei 100% Sprachhörverlust mit den Prozentwerten aus dem Sprachaudiogramm vergleichbar. Damit lassen sich 83% aller Hörverlust-Werte ineinander überführen. Auf die Münsteraner Stichprobe bezogen, wäre Formel 3 ein möglicher Weg zur adäquaten Beurteilung des prozentualen Hörverlustes aus dem Tonaudiogramm.

Bei Heidelberg ist die Situation wieder etwas ungünstiger. Hier verläuft die Ideale nur zwischen 10 und 70% Sprachhörverlust innerhalb der Standardabweichung und dann wieder zwischen 95 und 100% Sprachhörverlust. Trotzdem erfaßt die neue Formel einen relativ breiten Bereich, nur die Standardabweichung ist im Vergleich zu den anderen Vorschlägen etwas zu hoch.

Der Schnittpunkt der Kurven mit der Idealen liegt

Tabelle 10: Formel nach v. Lüpke (3)

HV (%) aus dem Sprachaudiogramm	Münster			Heidelberg			Bonn			Frankfurt		
	n	$\bar{y}$	s	n	$\bar{y}$	s	n	$\bar{y}$	s	n	$\bar{y}$	s
0	190	14,3	± 10,4	233	15,6	± 10,3	221	15,6	±10,5	250	18,5	±11,1
10	125	22,7	12,9	95	20,8	12,8	155	27,7	13,0	121	13,8	9,1
20	157	31,1	13,8	163	28,6	15,1	154	35,6	12,3	155	24,6	10,6
30	144	39,1	16,5	110	34,1	14,6	158	45,2	13,5	142	29,5	9,2
40	112	43,2	14,9	151	41,1	13,3	108	49,2	14,8	122	39,4	10,7
50	79	47,7	14,7	85	48,9	13,5	67	52,3	12,2	76	44,0	12,7
60	55	55,0	17,0	131	50,8	13,1	53	64,6	13,0	64	51,3	13,1
70	45	56,2	17,0	74	58,5	14,4	29	66,8	13,5	23	59,8	16,8
80	34	62,4	18,0	63	58,6	17,9	19	67,8	18,8	25	64,0	16,9
90	19	72,1	25,2	22	63,0	23,9	5	68,6	32,4	5	68,2	7,1
95	13	66,9	21,8	23	75,4	21,7	15	72,9	17,4	10	78,8	13,8
100	23	83,0	18,2	26	91,0	18,6	11	83,6	23,6	5	69,4	40,5
Gesamt	996	36,7	14,5	1176	37,9	13,8	995	38,4	13,0	998	30,2	11,2

für Frankfurt bei x = 29, Bonn bei x = 65, Heidelberg bei x = 44 und Münster bei x = 46 .

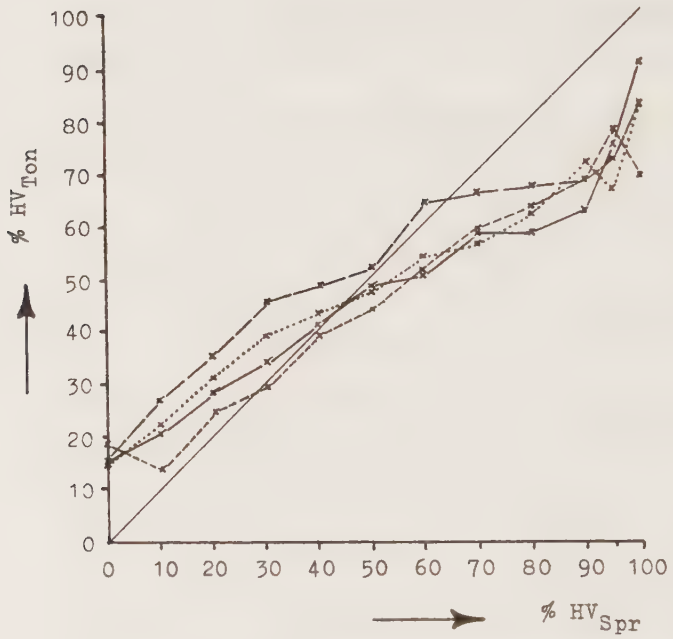

Abbildung 7: Hörverlust aus dem Tonaudiogramm nach v. Lüpke (3) im Vergleich zum Hörverlust aus dem Sprachaudiogramm, getrennt nach Population

..... Münster

——— Heidelberg

— — — Bonn

-------- Frankfurt

2.4 Verfahren nach v. L ü p k e (4)

Mit diesem Vorschlag versucht v. Lüpke die Begutachtung etwas zu vereinfachen und berücksichtigt nur noch den Tonhörverlust bei 2 kHz. Damit wird der prozentuale Hörverlust auf einer einzigen Frequenz aufgebaut, während 0,5; 1 und 3 kHz unbeachtet bleiben. Der Vorschlag lautet:

$$HV\ (\%) = \frac{4}{3}\ HV_{2kHz} - 37$$

Das Ergebnis findet sich in Tabelle 11 bzw. Abbildung 8.

2.4.1 Allgemeine Beurteilung

Die Kurven haben insgesamt eine verminderte Steigung. Sie verlaufen bei geringer und mittlerer Schwerhörigkeit (20 bis 60% Sprachhörverlust) angelehnt an die ideale Gerade. Erst ab 70% weichen die Kurven stärker von der Idealen ab, indem sie in diesem Bereich einen mehr horizontalen Verlauf aufweisen. Insgesamt kommt es bei einer Zunahme des prozentualen Hörverlustes aus dem Sprachaudiogramm von 100% zu einer Zunahme des prozentualen Hörverlustes aus dem Tonaudiogramm von nur 52%.

2.4.2 Vergleich der Populationen

Bei Null und bei 50% Sprachhörverlust liegen die Kurven eng beieinander, sonst divergieren sie, aber auch nicht stärker als bei den anderen Auswerteverfahren.

Die Bonner Kurve liegt wieder weitgehend am höchsten, aber der Abstand ist hier kleiner als sonst. Alle Kurven befinden sich innerhalb der gegenseitigen Streubreite.

Für Frankfurt ergibt sich ein Novum: Die Werte bilden nicht mehr überwiegend den Tiefstpunkt, sondern ähneln den übrigen Ergebnissen. Bei 70 und 80% liegen sie sogar deutlich höher als die Werte für Münster oder Heidelberg.

Die im Gesamttonaudiogramm (Abb.1) dargestellten Abweichungen zwischen den einzelnen Populationen werden im Gegensatz zu den übrigen Auswertungsvorschlägen verwischt wiedergegeben. Der Vorschlag "v. Lüpke(4)" ist aus diesem Grund und wegen der insgesamt zu gering eingeschätzten Hörverlustwerte für die Begutachtung nicht geeignet.

2.4.3 Spezieller Vergleich der einzelnen Kurven mit der Idealen

Die Frankfurter Kurve ist zwischen 10 und 40% sehr eng an die Ideale angelehnt, bis 70% Sprachgehörverlust liegt sie immer noch im Streubereich. Erst bei extrem großen Hörverlusten wird der Tonhörverlust relativ zu niedrig ermittelt.

Der Streubereich der Bonner Kurve erstreckt sich auf die Ideale zwischen 10 und 60%, für Münster ebenfalls, und für Heidelberg zwischen 10 und 50%. Immerhin wird ein beachtlicher Bereich richtig eingeschätzt.

Tabelle 11: Formel nach v. Lüpke (4)

HV (%) aus dem Sprachaudiogramm	Münster			Heidelberg			Bonn			Frankfurt		
	n	$\bar{y}$	s	n	$\bar{y}$	s	n	$\bar{y}$	s	n	$\bar{y}$	s
0	190	18,1	±11,0	233	17,8	± 9,5	221	16,1	±11,6	250	20,3	±12,2
10	125	19,7	15,0	95	20,6	13,6	155	25,3	15,2	121	14,3	11,5
20	157	29,0	15,4	163	24,5	15,9	154	31,2	14,0	155	24,8	14,0
30	144	36,2	18,1	110	27,4	16,0	158	40,0	16,4	142	29,8	12,7
40	113	39,6	16,0	151	33,2	15,4	108	42,8	15,8	122	38,7	13,8
50	79	43,4	15,8	85	43,0	14,5	67	44,5	13,3	76	40,7	15,2
60	55	47,2	17,9	131	43,3	14,9	53	56,3	14,0	64	46,8	14,5
70	45	48,3	19,3	74	49,0	15,3	29	55,7	13,8	23	53,7	16,8
80	34	53,2	19,8	64	48,6	19,1	19	59,5	16,5	25	58,5	17,2
90	19	61,8	25,7	22	52,1	24,7	5	57,1	37,2	5	57,8	8,7
95	13	55,7	19,0	23	62,9	23,2	15	59,4	17,9	10	68,4	15,0
100	23	69,7	19,6	26	74,8	21,4	11	68,6	19,3	5	65,8	40,4
Gesamt	996	33,8	15,8	1176	32,9	14,7	995	34,0	16,4	998	29,8	13,4

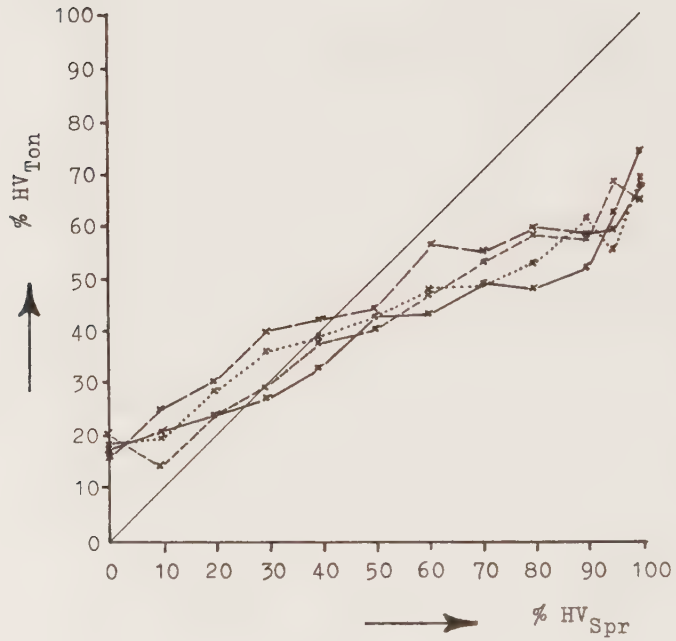

Abbildung 8: Hörverlust aus dem Tonaudiogramm nach v. Lüpke (4) im Vergleich zum Hörverlust aus dem Sprachaudiogramm, getrennt nach Populationen

····· Münster

———— Heidelberg

— — — Bonn

-------- Frankfurt

3.1 Verfahren nach F o w l e r u. S a b i n e 1947

Zur Ermittlung des prozentualen Hörverlustes aus dem Reintonaudiogramm gehen Fowler u. Sabine von den Frequenzen c^2, c^3, c^4 und c^5 aus (entsprechend 500, 1000, 2000 und 4000 Hz). Diese vier Frequenzen werden für das Sprachverständnis als maßgebend angesehen. Durch statistische Untersuchungen und Korrelationsvergleiche kamen Fowler u. Sabine zu der Feststellung, daß die ausgewählten Frequenzen unterschiedlich stark zu bewerten sind. Den größten Einfluß auf das Sprachgehör hat die Frequenz 2000 Hz, ihr werden 40% der Gesamtbewertung zugestanden. Es folgen 1000 Hz mit 30% und schließlich 500 und 400 Hz mit je 15%. Wie sich die anteiligen Hörverlustprozente auf die einzelnen Hörverlustwerte in dB jeweils verteilen, zeigen Abb. 9 und Tab. 12. Ein 100%iger Hörverlust liegt dann vor, wenn für alle vier Bezugsfrequenzen ein Hörverlust von wenigstens 95 dB erreicht ist.

Tabelle 12

Hörverlust in dB	Hörverlust in Prozent 500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
10	0,2	0,3	0,4	0,1
15	0,5	0,9	1,3	0,3
20	1,1	2,1	2,9	0,9
25	1,8	3,6	4,9	1,7
30	2,6	5,4	7,2	2,7
35	3,7	7,7	9,8	3,8
40	4,9	10,2	12,9	5,0
45	6,3	13,0	17,3	6,4
50	7,9	15,7	22,4	8,0
55	9,6	19,0	25,7	9,7
60	11,3	21,5	28,0	11,2
65	12,8	23,5	30,2	12,5
70	13,8	25,5	32,2	13,5
75	14,6	27,2	34,0	14,2
80	14,8	28,8	35,8	14,6
85	14,9	29,8	37,5	14,8
90	15,0	29,9	39,2	14,9
95	15,0	30,0	40,0	15,0

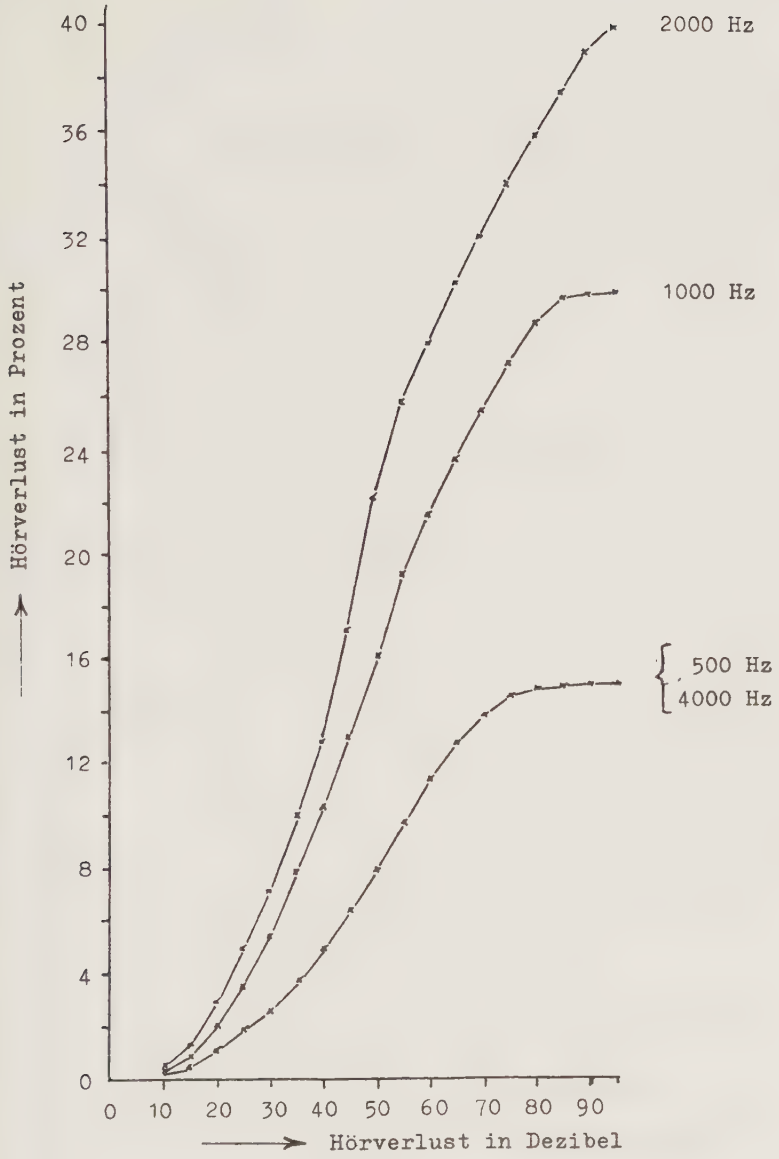

Abbildung 9: Prozentualer Hörverlust aus dem Tonaudiogramm nach Fowler u. Sabine. Abhängig vom Hörverlust in Dezibel wird im einzelnen dargestellt, mit welcher Wertigkeit die verschiedenen Frequenzen in den Prozentwert eingehen.

3.2 Vergleich der Populationen

Die Auswertung erfolgt in der üblichen Weise.
Das Ergebnis zeigen Tab. 13 und Abb. 10. Im Bereich geringen Sprachhörverlustes findet sich qualitativ eine Ähnlichkeit mit den Ergebnissen nach Röser von 1973 (S. 37), bei einem Sprachhörverlust zwischen 40 und 80% ähnelt das Kurvenbild mehr der Auswertung nach dem Vorschlag v. Lüpke (3).
Anfangs zeigen alle vier Populationen einen höheren prozentualen Tonhörverlust als aus dem Sprachaudiogramm. Eine Annäherung der Ton- und Sprachhörverluste findet erst zwischen 40 und 75% statt. Alle vier Kurven haben ein Maximum bei 95%igem Sprachhörverlust und unterscheiden sich hier am wenigsten (maximal 5%), auch die Standardabweichung weist im Vergleich zu anderen mittleren Tonhörverlusten keine größeren Werte auf; bei der Frankfurter Population ist die Standardabweichung für 95% Sprachhörverlust auffallend klein.
Im Gesamtverlauf liegen die Kurven von Heidelberg und Münster wieder sehr dicht beieinander, wie es auch die auf andere Verfahren bezogenen Abbildungen zeigen. Auch Frankfurt lehnt, zumindest im Bereich von 0 bis 50% Sprachhörverlust noch eng an Münster und Heidelberg an. Nur die Kurve von Bonn verläuft eindeutig oberhalb der anderen.

Tabelle 13: Verfahren nach Fowler und Sabine

HV (%) aus dem Sprachaudiogramm	Münster			Heidelberg			Bonn			Frankfurt		
	n	$\bar{y}$	s	n	$\bar{y}$	s	n	$\bar{y}$	s	n	$\bar{y}$	s
0	190	15,0	11,6	233	16,1	13,3	221	19,6	10,8	250	10,4	9,1
10	125	26,5	12,7	95	28,0	15,9	155	34,0	12,1	121	24,1	12,3
20	157	36,4	13,5	163	35,2	15,0	154	40,3	12,3	155	33,4	12,5
30	144	42,3	14,7	110	40,2	13,9	158	48,2	12,0	142	38,2	11,1
40	112	46,0	13,5	151	46,0	12,8	108	54,4	13,3	122	44,0	8,8
50	79	53,4	12,6	85	51,4	12,9	67	57,1	13,5	76	48,1	10,1
60	55	58,7	16,5	131	53,8	12,7	53	62,3	15,6	64	50,7	9,9
70	45	62,2	11,8	74	61,9	11,9	29	71,8	10,8	23	57,4	18,8
80	34	65,9	13,0	64	63,2	17,3	19	74,4	16,5	25	66,1	13,0
90	19	68,3	16,7	22	62,1	21,0	5	70,0	15,6	5	64,2	24,6
95	13	83,4	11,7	23	85,3	13,7	15	85,4	14,3	10	80,4	7,3
100	23	73,1	24,4	26	82,4	16,3	11	79,4	19,3	5	55,3	30,0
Gesamt	996	39,8	13,5	1176	41,7	14,0	995	42,6	12,4	998	32,8	10,9

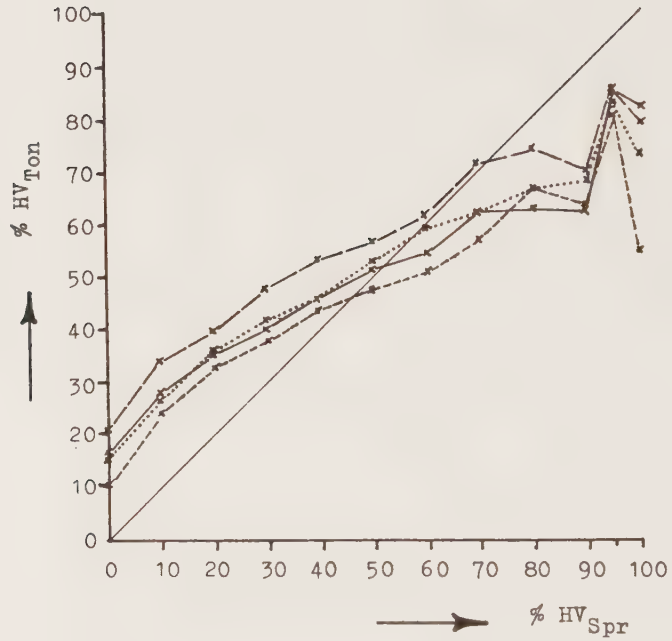

Abbildung 10: Hörverlust aus dem Tonaudiogramm nach Fowler u. Sabine im Vergleich zum Hörverlust aus dem Sprachaudiogramm, getrennt nach Populationen

····· Münster

——— Heidelberg

— — — Bonn

-------- Frankfurt

4.1 Verfahren nach T r a u t m a n n u. O e k e n

Zur Festlegung des Hörverlustes stellten Trautmann u. Oeken 1975 zwei weitere Methoden vor.
Die erste Methode, die im folgenden besprochen werden soll, bezieht sich auf die Berechnung des Hörverlustes nach dem Tonaudiogramm.
Die zweite Methode zeigt einen neuen Weg zur Festlegung des Hörverlustes nach dem Verständnis für Zahlen und Wörter. Da Röser u. Boenninghaus mit ihrer Tabelle aus dem Jahre 1973 aber schon einen adäquaten Weg der Beurteilung nach dem Sprachaudiogramm gefunden haben, soll dieses Verfahren von Trautmann u. Oeken hier nicht weiter untersucht werden. Unser Interesse gilt der Hörverlustbestimmung aus dem Tonaudiogramm.
Trautmann u. Oeken schlagen die Bewertung nach einer von ihnen neu erstellten "Hörverlustkurve" vor.
An dieser Kurve orientiert sich auch die Bewertungstabelle in der Abbildung 11 bzw. Tabelle 14.

Tabelle 14

Hörverlust	Hörverlust in Prozent				
in dB	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	3000 Hz	4000 Hz
0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
10	0	1	0	0	0
15	1	1	1	0	0
20	2	3	2	1	0
25	3	5	4	1	1
30	4	8	7	2	1
35	6	11	9	3	2
40	8	14	12	4	2
45	10	17	15	5	3
50	12	21	18	6	3
55	14	24	21	7	3
60	16	27	23	8	4
65	17	30	26	9	4
70	18	32	28	9	5
75	19	34	29	10	5
80	20	34	30	10	5
85	20	35	30	10	5
90	20	35	30	10	5
95	20	35	30	10	5
100	20	35	30	10	5

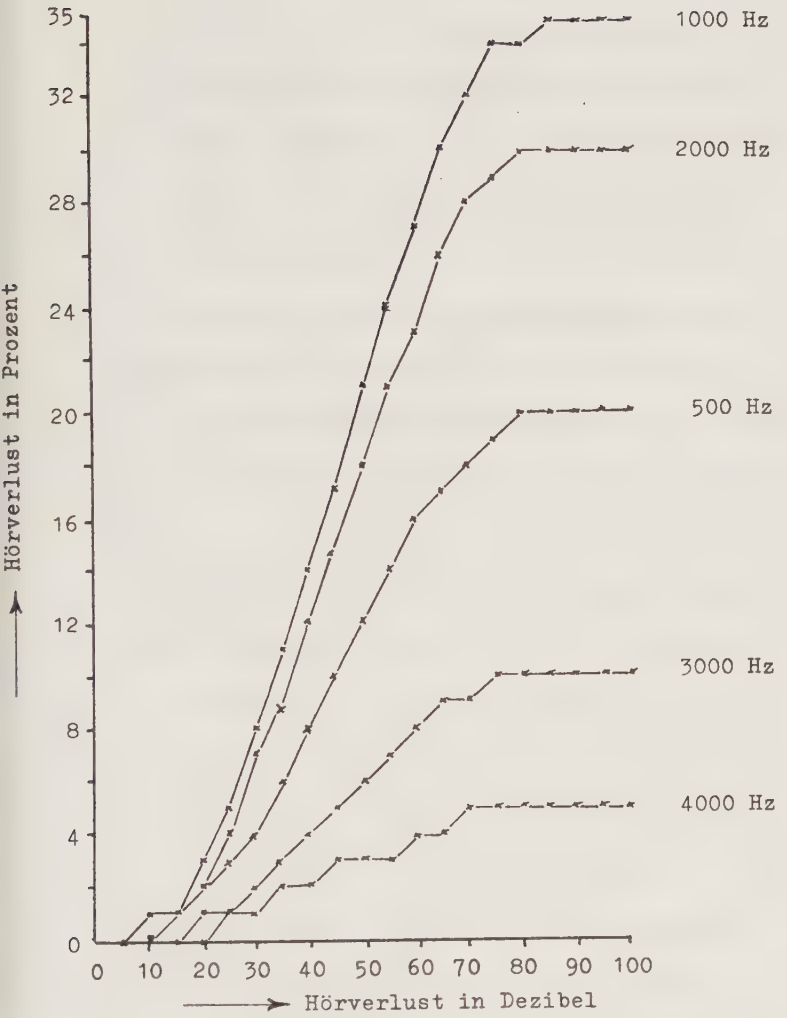

Abbildung 11: Prozentualer Hörverlust aus dem Tonaudiogramm nach Trautmann u. Oeken. Abhängig vom Hörverlust in Dezibel wird im einzelnen dargestellt, mit welcher Wertigkeit die verschiedenen Frequenzen in den Prozentwert eingehen.

4.2 Vergleich der Populationen

Die Berechnung der Hörverluste nach Trautmann u. Oeken ergibt die in Tabelle 15 aufgeführten Werte. Der Vergleich dieser Ergebnisse mit den prozentualen Sprachhörverlusten ist in Abbildung 12 graphisch dargestellt.

Ein ideales Verhältnis beider Bestimmungsverfahren hätte die eingezeichnete Gerade mit einem Steigungswinkel von 45° ergeben müssen, doch zeigen sich besonders bei geringen und hohen Hörverlusten große Diskrepanzen.

Bei Sprachhörverlusten bis 40% sind die mittleren Hörverluste nach dem Tonaudiogramm (ohne Berücksichtigung der Standardabweichung) zu groß.

Die Bonner Population hat z.B. bei einem Sprachhörverlust von 10% im Mittel einen Hörverlust nach dem Tonaudiogramm von 33,1%. Zwischen 45 und 75% liegen die Mittelwerte um die "Idealkurve" verteilt. Bei großen Hörverlusten (80 - 100%) wird nach dem Tonaudiogramm ein zu geringer Schaden ermittelt, ähnlich wie in den vorangegangenen Verfahren. Der maximale Wert von 89% aus dem Tonaudiogramm liegt bei einem Sprachhörverlust von 95%. Für die hier untersuchten vier Stichproben gibt es nie einen 100%igen Hörverlust aus dem Tonaudiogramm, im Widerspruch zu den aus dem Sprachaudiogramm gewonnenen Ergebnissen.

Der kleinste mittlere Hörverlust aus dem Tonaudiogramm

ist mit 8,2% bewertet. Somit wird der ohnehin schon nur bedingt mögliche Rückschluß vom Ton- auf das Sprachaudiogramm durch diese ungleiche Bewertung noch erschwert.

Die Bonner Kurve verläuft auch nach diesem Verfahren am höchsten. Sie lehnt sich nur bei 60 und 95% Sprachhörverlust eng an die Kurve Münster an. Ebenso findet bei sehr großem Sprachhörverlust (95 und 100%) auch eine Anlehnung an die Heidelberger Kurve statt. Bei geringgradiger Schwerhörigkeit (0 bis 20 %) verlaufen die Kurven von Münster, Heidelberg und Bonn annähernd parallel.

Die Frankfurter Kurve verläuft zwischen 20 und 70% Sprachhörverlust jast linear. Sie bleibt insgesamt niedriger als die anderen drei Kurven, nur bei 80 und 90% Sprachhörverlust schneidet sie die Kurve von Heidelberg und zeigt hier größere Tonhörverluste als diese.

Die Kurven der Populationen Münster und Heidelberg verlaufen wieder annähernd gleich. Durch Zufall zeigt sich hier eine Merkwürdigkeit: Im Diagramm liegt die Kurve Münster durchweg höher als Heidelberg. In der Tabelle dagegen finden wir den Gesamtmittelwert für Münster kleiner als für Heidelberg, nämlich 43,4% für Heidelberg und 42,2% für Münster. Diese Diskrepanz entsteht durch die unterschiedliche Anzahl an Ohren pro Hörverlust-gruppe, die sich erst bei der Gesamtmittelwert-

bildung bemerkbar macht. Die entsprechende Verteilung wird in Abb. 13 graphisch wiedergegeben.

Tabelle 15: Verfahren nach Trautmann

HV (%) aus dem Sprachaudiogramm	Münster			Heidelberg			Bonn			Frankfurt		
	n	$\bar{y}$	s	n	$\bar{y}$	s	n	$\bar{y}$	s	n	$\bar{y}$	s
0	190	15,3	11,9	233	15,4	14,0	221	19,5	10,5	250	8,2	9,1
10	125	27,4	12,5	95	26,9	16,2	155	33,1	11,7	121	22,0	12,7
20	157	36,0	13,9	163	35,4	15,6	154	40,3	12,7	155	29,7	12,8
30	144	43,4	15,7	110	40,8	14,3	158	50,2	12,7	142	36,1	11,8
40	112	48,0	14,4	151	47,2	13,8	108	57,0	13,6	122	42,4	9,7
50	79	56,1	13,6	85	55,4	13,8	67	60,4	14,3	76	48,5	10,1
60	55	63,9	16,6	131	56,7	13,4	53	65,3	16,2	64	55,2	9,9
70	45	69,3	10,4	74	66,3	11,9	29	77,3	13,8	23	60,0	19,6
80	34	71,0	9,9	64	68,1	16,8	19	78,1	17,2	25	69,4	12,8
90	19	73,4	16,0	22	65,0	20,3	5	72,9	15,8	5	67,3	26,7
95	13	87,8	10,6	23	88,2	12,1	15	89,0	13,8	10	82,4	6,8
100	23	76,2	24,7	26	86,4	12,5	11	85,4	18,0	5	53,9	31,5
Gesamt	996	41,5	13,7	1176	43,1	14,4	995	43,8	12,7	998	31,4	11,2

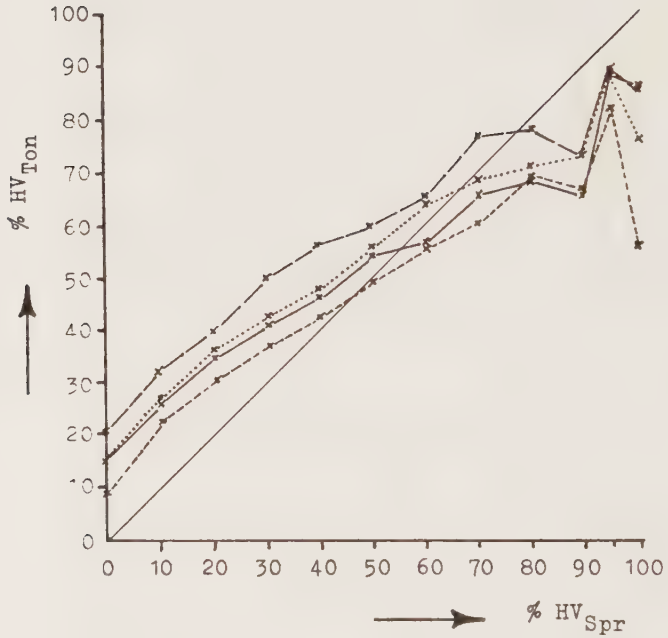

Abbildung 12: Hörverlust aus dem Tonaudiogramm nach Trautmann und Oeken im Vergleich zum Hörverlust aus dem Sprachaudiogramm, getrennt nach Populationen

..... Münster

——— Heidelberg

— — — Bonn

-------- Frankfurt

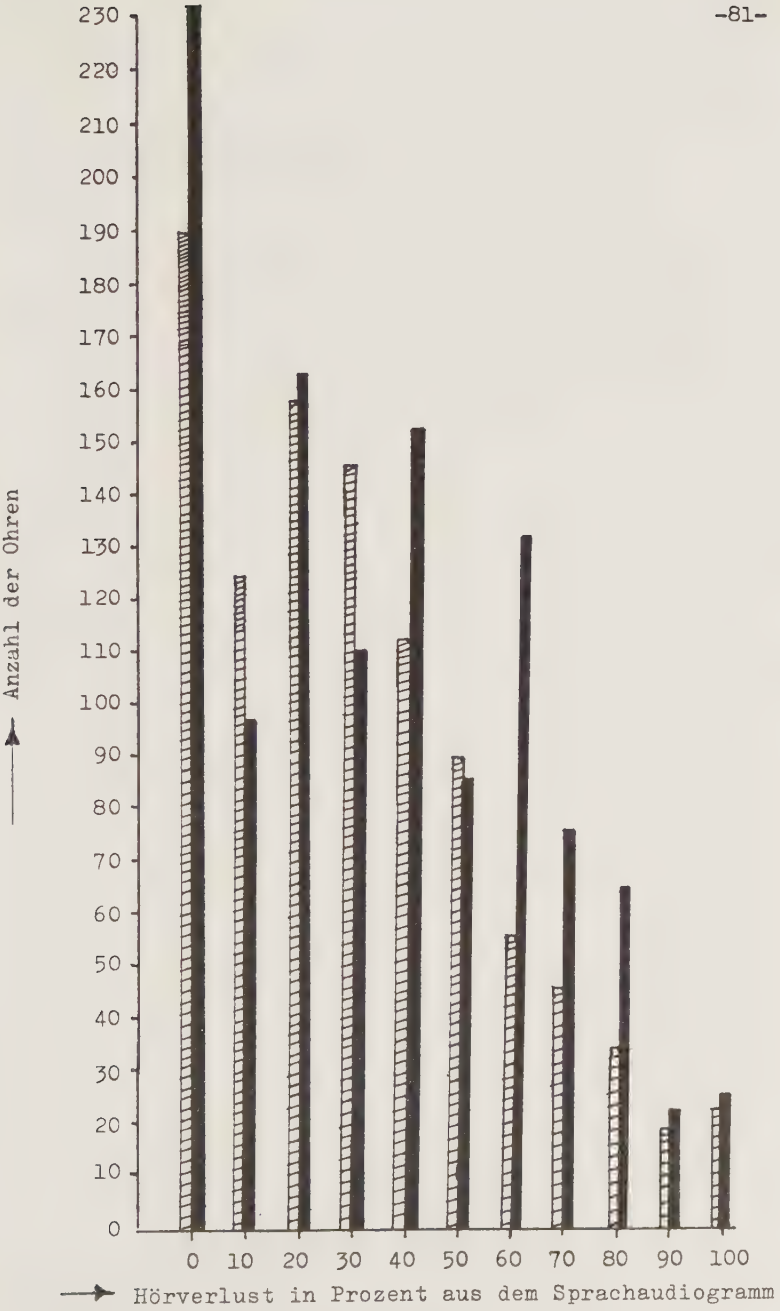

Abbildung 13: Anzahl der Fälle, bei denen sich aus dem Sprachaudiogramm ein bestimmter prozentualer Hörverlust ergab

schraffiert: Münster
schwarz: Heidelberg

Kapitel 111

Vergleich der einzelnen Verfahren und abschließende Beurteilung

Nachdem das Verhalten der einzelnen Populationen unter den verschiedenen Bestimmungsmethoden und im Vergleich zum prozentualen Sprachhörverlust analysiert ist, fehlt noch ein genereller Vergleich der Verfahren. Diesem Zweck dient die Tabelle 16. Dort ist für jedes überprüfte Auswertungsverfahren, getrennt nach den einzelnen Populationen, der mittlere prozentuale Tonhörverlust eingetragen. In der untersten Zeile findet sich jeweils der Gesamtdurchschnitt aller vier Kliniken zusammen. Zusätzlich stehen in der dritten Spalte die Mittelwerte und der Gesamtmittelwert des prozentualen Hörverlustes aus dem Sprachaudiogramm und in Spalte 4 die entsprechenden Angaben aus dem Tonaudiogramm, jedoch in Dezibel. Letztere sind der Tabelle 2 entnommen.

Der niedrigste mittlere prozentuale Tonhörverlust tritt nach dem vierten Verfahren v.Lüpke auf. Einem Gesamt-Tonhörverlust von 45,5 dB entspricht hier ein Hörverlust von 32, 6%. Das gleiche Verfahren verzerrt auch die prozentuale Rangfolge der vier Populationen im Vergleich zu den in dB aufgenommenen Hörverlusten. Zwar zeigt Frankfurt auch wieder den niedrigsten prozentualen Hörverlust, doch folgt an zweiter Stelle statt Münster Heidelberg mit dem nächst größeren Hörverlust und dann erst Münster und Bonn.

Den höchsten prozentualen Hörverlust weist insgesamt die Berechnung nach Röser auf. Sie ergibt bei den gleichen Untersuchungsgruppen einen um 5 Prozentpunkte größeren Tonhörverlust als die Berechnung nach Trautmann u.Oeken, die den zweithöchsten Prozentwert, nämlich 40,6, erbringt. Es folgt die Berechnung nach Fowler u.Sabine, die für die gleiche Personengruppe einen Hörverlust von 39,8% ergibt. Nach den anderen drei Vorschlägen von v.Lüpke läßt sich schließlich ein mittlerer Hörverlust von 34,1; 34,7 und 35,9% errechnen. Der mittlere Sprachhörverlust, der nach der allgemein anerkannten Tabelle von Röser u.Boenninghaus berechnet wird, beträgt 30,7%. Diesem Vergleichswert nähert sich das Ergebnis aus der Berechnung nach dem vierten Vorschlag von v.Lüpke am besten. Unter Berücksichtigung der Streuung der Einzelwerte um den Mittelwert, liegen beide Werte (nach dem Sprachaudiogramm und nach v.Lüpke 4 noch innerhalb eines zulässigen Bereiches, wenn auch, das gilt für alle Verfahren, der prozentuale Hörverlust aus dem Tonaudiogramm im Vergleich zum prozentualen Sprachhörverlust generell mehr oder weniger höhere Zanlenwerte ergibt.

Es fällt auf, daß die mittleren Gesamt-Tonhörverluste für die Verfahren nach v.Lüpke sehr ähnliche Werte aufweisen. Ihre maximale Differenz beträgt 3,3 Prozentpunkte. Da sie insgesamt die niedrigsten Ergebnisse bringen, unterscheiden sie sich vom mittleren Sprachhörverlust maximal um 5,2 Prozentpunkte.

Die anderen Verfahren liegen deutlich darüber, nach Fowler u. Sabine beträgt die Differenz 9,1, nach Trautmann u. Oeken nahezu 10 und nach Röser sogar 15 Prozentpunkte. Leider treten bei fast allen Verfahren örtliche Unterschiede auf, die zunächst bei der Aufstellung der für die einzelnen Kliniken repräsentativen Tonaudiogramme nicht zu beobachten waren. Nur der vierte Vorschlag von v. Lüpke weist dieses Problem nicht auf. Hier ähneln sich die prozentualen Tonhörverluste der vier Stichproben so sehr, daß ein geographischer Unterschied unberücksichtigt bleiben kann. Die Gesamtmittelwerte für den prozentualen Tonhörverlust aus den verschiedenen Verfahren liegen allesamt höher als der mittlere prozentuale Sprachhörverlust. Und trotzdem zeichnen sich für jedes Auswertungsverfahren Bereiche ab, in denen Töne und Sprache zu weitgehend übereinstimmenden Ergebnissen führen. Das gilt vor allem für die mittleren Werte, für den Bereich, der sich ungefähr zwischen 30 und 60% Sprachhörverlust erstreckt. Wir können also sagen, daß bei gering- bis mittelgradigen Schwerhörigkeiten durchaus die Möglichkeit besteht, den prozentualen Hörverlust aus dem Tonaudiogramm abzuleiten, allerdings immer mit der Einschränkung, es muß auch mit Fehlbeurteilungen gerechnet werden, weil die Standardabweichung bei allen Bewertungsverfahren nicht unerheblich ist.

In der bisherigen Betrachtungsweise sind wir stets von der Voraussetzung ausgegangen, daß der aus dem Sprachaudiogramm ermittelte Hörverlust richtig und damit verbindlich ist. Wenn wir dabei bleiben, so gehen alle Diskrepanzen zwischen Ton- und Sprachhörverlust zu Lasten der Hörverlustbestimmung aus dem Tonaudiogramm. Es darf uns deshalb nicht wundern, wenn die Standardabweichung verhältnismäßig groß ausgefallen ist. Wir finden für jede Population und für jedes Verfahren zwar eine feste Zuordnung von Ton- und Sprachhörverlust, dazu kommt aber ein relativ großer Streubereich, in dessen Grenzen sich das individuelle Ergebnis bewegen kann, was wir aber nicht voraussagen können.

Schon in der Einleitung schilderten wir die unterschiedliche Bedeutung von Ton- und Sprachaudiogramm. Deshalb dürfen wir auch von einem neuen Verfahren keine 100%ige Übereinstimmung zwischen den Hörverlusten aus Ton- und Sprachaudiogramm erwarten, nur sollte der Anspruch auf eine möglichst kleine und möglichst konstante Differenz, zumindest bei kleinen bis mittleren Hörverlusten, erhoben werden.

Zusammenfassend sollte das neue Verfahren zur Ermittlung des prozentualen Hörverlustes aus dem Tonaudiogramm zwei Forderungen, die v.Lüpke zum Teil in seinem vierten Vorschlag verwirklichte, erfüllen:

1.) Ähnlichkeit des prozentualen Hörverlustes bei Ermittlung aus Ton- bzw. Sprachaudiogramm

2.) kleine Standardabweichung des prozentualen Hörverlustes aus dem Tonaudiogramm beim Vergleich mit dem Sprachaudiogramm.

	n	$\bar{x}$	$\bar{z}$	Röser	L_1	L_2	L_3	L_4	F.u.S.	Tr.u.Oe.
Münster	996	31,7	46,1	46,8	35,6	36,1	36,7	33,8	40,5	42,2
Heidelberg	1176	36,3	48,2	49,4	37,8	37,5	37,9	32,9	42,1	43,4
Bonn	995	26,9	48,8	50,7	38,6	38,0	38,4	34,0	43,2	44,2
Frankfurt	998	26,7	38,8	35,0	26,4	24,3	30,2	29,8	33,1	32,0
Gesamt-Mittel	$\sum_n$ 4165	30,7	45,5	45,6	34,7	34,1	35,9	32,6	39,8	40,6

Tabelle 16: Zusammenfassung der Mittelwerte

n : Anzahl der untersuchten Ohren

$\bar{x}$: mittlerer prozentualer Sprachhörverlust

$\bar{z}$: mittlerer Tonhörverlust in dB

L_{1-4} : v. Lüpke - Tabellen

Zusammenfassung

Am Anfang wird das Erstellen der ausgewählten Populationen erörtert und deren jeweilige Zusammensetzung dargelegt. Die sorgfältige Auswahl der Fälle war ausnahmslos auf Lärmschwerhörigkeiten ausgerichtet, deren Daten aus Gutachten der Universitäts-Hals-Nasen-Ohrenkliniken Münster, Heidelberg, Bonn und Frankfurt entnommen sind. Die Altersverteilungen der vier Populationen zeigen keine wesentlichen Unterschiede. Aus dem Summentonaudiogramm ergibt sich der Hinweis, daß in Münster, Heidelberg und Bonn im Mittel ähnliche Schwerhörigkeitsgrade begutachtet wurden, während sich in Frankfurt, vorwiegend für niedrige Frequenzen, geringere Hörverluste ergeben haben. Trotzdem ist der Diskriminationsverlust in Frankfurt größer als in den drei anderen Kliniken, wie das Summensprachaudiogramm zeigt.

Der prozentuale Sprachhörverlust der Patienten wird nach der anerkannten Tabelle von Boenninghaus u. Röser (1973) berechnet.

Die Berechnung des prozentualen Hörverlustes aus dem Tonaudiogramm erfolgt nach den jeweiligen Verfahren von Röser, v. Lüpke, Fowler u. Sabine und Trautmann u. Oeken. Für jedes Verfahren wird ein Vergleich zum prozentualen Sprachhörverlust graphisch dargestellt, der einerseits den Grad der Übereinstimmung zwischen prozentualem Tonhörverlust und prozentualem Sprach-

hörverlust zeigt und andererseits die Korrelation der verschiedenen Auswerteverfahren zum Ausdruck bringt. Die beste Übereinstimmung zwischen prozentualem Ton- und Sprachhörverlust wird nach einem Vorschlag von v. Lüpke (4) erreicht, der nur die Frequenz 2 kHz zur Berechnung des prozentualen Tonhörverlustes berücksichtigt. Bei allen anderen Verfahren ist die Diskrepanz größer, sowohl in der Gegenüberstellung von Ton- und Sprachgehör als auch im Vergleich der Populationen.

Literatur

Arlinger, S.D. — Results from two years of a hearing conversation programme for noise industries
Scand. Audiol. 3, 23 (1974)

Axelsson, A., Vertes, D. u. Miller, J. — Immediate noise effects on cochlear vasculature in the guinea pig
Acta oto-laryng. (Stockh.) 91, 237 (1981)

Bess, F.H. u. Poyner, E. — Noise-induced hearing loss and snowmobiles
Arch. Otolaryng. (Chicago) 99, 45 (1974)

Boenninghaus, H.-G. u. Röser, D.

(1) Beziehungen zwischen Hörweite und Sprachaudiometrie unter Zugrundelegung raumakustischer Untersuchungen
Z. Laryng. Rhinol. 36, 261 (1957)

(2) Prozentuale Hörverlustbestimmung des Sprachgehörs und Festsetzung der MdE
Z. Laryng. Rhinol. 37, 719 (1958)

(3) Zur praktischen Anwendung der Hörverlusttabellen und Festsetzung der MdE
Arch. Ohr.-,Nas.-u.Kehlk.-Heilk. 175, 396 (1959)

(4) Neue Tabellen zur Bestimmung des prozentualen Hörverlustes für das

Sprachgehör
Z. Laryng. Rhinol. 52, 153 (1973)

Botte, M.C. u. Variot, M.N.
La fatigue auditive chez les sujets ayant subi un traumatisme acoustique
Ann. Oto-laryng. (Paris) 96, 827, (1979)

Brusis, T.
(1) Gutachterliche Probleme beim Zusammentreffen von Lärmschwerhörigkeit und Hörstörung anderer Genese unter besonderer Berücksichtigung der Altersschwerhörigkeit
Z. Laryng. Rhinol. 52, 915 (1973)
(2) Fehler bei der Begutachtung der Lärmschwerhörigkeit
Z. Laryng. Rhinol. 57, 331 (1978)

Davis, H., Morgan, C.T., Hawkins, J.E., Galambos, R. u. Smith, F.
Temporary deafness following exposure to loud tones and noise
Acta oto-laryng. (Stockh.) Suppl.88 (1950)

Dieroff, H.G., Werner, R., Stahl, J, u. Reichel, G.
Über den diagnostischen Beitrag des EEG bei der Abgrenzung von Lärmhörschäden
Z. Laryng. Rhinol. 52, 908 (1973)

Dieroff, H.G. — Lärmschwerhörigkeit
Johann Ambrosius Barth, Leipzig
1978 (2. Aufl.)

Feldmann, H. — Quantitative Beurteilung von
Hörstörungen
Z. Laryng. Rhinol. 29, 423 (1950)

Fritze, W. — Zur Prognose des lärmbedingten,
bleibenden Hörschadens
Arch. Ohr.-Nas.-u.Kehlk.-Heilk. 210,
344 (1975)

Glorig, A. — The effects of noise on hearing
J. Laryng. (Lond.) 75, 447 (1961)

Grisanti, G. u.
Maggio, O. — Studio comparativo della capacità nei
macchinisti e nel personale viaggiante
delle ferrovie
Atti Clin. oto-rino-laring.
Univ. Palermo 16, 83 (1974)

Hahlbrock, K.H. — Sprachaudiometrie
Thieme, Stuttgart 1970 (2. Aufl.)

Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V.
Empfehlungen des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften für die Begutachtung der beruflichen Lärmschwerhörigkeit
-Königsteiner Merkblatt-
Schriftenreihe des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften
Bonn (1977)

Hermanowicz, A.
Histochemische Veränderungen im Spiralorgan von Meerschweinchen nach langzeitiger Lärm- und Vibrationseinwirkung
Otolaryng. pol. 33, 55 (1979)
(Polnisch)
ref. Zbl. HNO-Heilk. 122, 373 (1980)

Hultcrantz, E.
The effect of noise on cochlear blood flow in the conscios rabbit
Acta.physiol. scand. 106, 29 (1979)

Kietz, H. u. Zangemeister, H.E.
Einführung in die Audiometrie
Verlag für angewandte Wissenschaften, Wiesbaden 1953

Klinke, R.
Physiologie des Gleichgewichtssinnes, des Hörens und des Sprechens

in: Schmidt, R.F. u. Thews, G.
Einführung in die Physiologie des Menschen
Springer, Heidelberg 1976

Kramarenko, J.B., Ostapkovich, V.E. u. Ponomareva, I.
Zustand der Hörfunktion bei Leuten, die unter Betriebslärmbedingungen seit ihrem Jugendalter arbeiten
Vestn. Otorinolaring. (Moskau) Nr. 1, 93 (1973) (Russisch),
ref. Zbl. HNO-Heilk. 110, 619 (1975)

Kressin, J. u. Harms, U.
Untersuchung der Abhängigkeit des Hörverlustes von Lebensalter und Expositionszeit mittels statistischer Informationsanalyse am Beispiel der Piloten der zivilen Luftfahrt
Verkehrsmedizin 22, 351 (1975)

Lafon, J.-C.
La surdité professionnelle
Cah. ORL Chir. cervico-fac. 10, 111 (1975)

Lenhardt, E.
Praktische Audiometrie
Thieme, Stuttgart 1978 (5.Aufl.)

Lüpke, A. v. (1) Bewertung von Schwerhörigkeiten mit Hilfe von Kurvendarstellungen
Z. Laryng. Rhinol. 54, 77 (1975)
(2) Analyse von 1700 entschädigten Lärmschwerhörigkeiten in Metallbetrieben
Z. Laryng. Rhinol. 57, 505 (1978)

Manhio, D.T. u. Gershbein, L.L. Enzymatic activity of inner and middle ear fluids in fetal guinea pigs under ambient and high-intensity sound presentation
Acta oto-laryng. (Stockh.) 84, 233 (1977)

Meister, F.J. Akustische Meßtechnik der Gehörprüfung
Braun, Karlsruhe 1954

Meyer, C. u. Biedermann, M. Immediate alterations in the impulse noise exposed organ of Corti of the guinea pig
Acta oto-laryng. (Stockh.) 90, 250 (1980)

Nemecek, J. Hörschäden in der Industrie
Soz.-und Präv.-Med. 19, 185 (1974)

Partsch, C.J. u. Hülse, M. Beurteilung von Arbeitslärm am Arbeitsplatz hinsichtlich Gehörschäden
HNO (Berlin) 22, 287 (1974)

Paulsen, K. Einführung in die HNO-Heilkunde
Uni-Taschenbücher Stuttgart 1978

Plath, P. (1) Das Ton- und Sprachgehör bei Lärmschäden des Ohres
UTB Schattauer Stuttgart 1971
(2) Das Hörorgan und seine Funktion
Carl Marhold Verlagsbuchhandlung
Berlin 1976 (3. Aufl.)

Ritter, J. u. Gerhardt, H.J. Morphologische Veränderungen im Cortischen Organ des Meerschweinchens nach Reinton-Dauerbeschallung
Arch. ORL (Berl.) 220, 73 (1978)

Röser, D. (1) Hörweitenbestimmung und Sprachaudiometrie in der Praxis
Z. Laryng. Rhinol. 38, 116 (1959)
(2) Sprachgehör und Tonaudiogramm
Z. Laryng. Rhinol. 42, 851 (1963)
(3) Bestimmung des prozentualen Hörverlustes aus dem Tonaudiogramm
Z. Laryng. Rhinol. 46, 568 (1967)
(4) Das Tonaudiogramm als Grundlage für die MdE-Skala
Z. Laryng. Rhinol. 52, 666 (1973)

Salvi, R.J., Hamernik, R.P. u. Henderson, D.
Auditory nerve activity and cochlear morphology after noise exposure
Arch. ORL (Berl.) 224, 111 (1979)

Santi, P.A. u. Duvall, A.J.
Stria vascularis pathology and recovery following noise exposure
Otolaryngology (Rochester,MN) 86, 354 (1978)

Scharnbacher, K.
Statistik im Betrieb
Gabler KG, Wiesbaden 1979 (3.Aufl.)

Spoendlin, H.
Gehörschädigender Effekt des Schalls
in: Berendes, J., Link, R. u. Zöllner, F. Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde in Praxis und Klinik 6, 42.3
Thieme, Stuttgart 1980 (2.Aufl.)

Takeuchi, T.
Noise-induced hearing loss; the difference between hearing loss threasholds of both ears
J. Otolaryng. Jap. 76, Abstr. 7 Part 1, 2 (1973) (Japanisch)
ref. Zbl. HNO-Heilk. 110, 480 (1975)

Trautmann, M. u. Oeken, F.-W.
Eine neue Methode zur Berechnung des Hörverlustes aus dem Sprach- und Tonaudiogramm
HNO-Praxis 2, 113 (1977)

Voldřich, L.
Mechanism of spreading posttraumatic necrosis of Corti organ
Čsl.Otolaryng. 29, 1 (1980)
(Tschechisch)
ref. Zbl. HNO-Heilk.125 , 212 (1981)

Ward, W.D.
Adaptation and fatigue
in: Modern Developments in Audiology, 301
Academic Press, New York 1973

Watson, L.A. u. Tolan, T.
Hearing tests and hearing instruments
The Williams & Wilkins Company,
Baltimore 1949

Wittgens, H.
Fortschritte in der Begutachtung der Lärmschwerhörigkeit
Z. Laryng.Rhinol. 57, 345 (1978)

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, daß ich die dem Fachbereich Humanmedizin der Johann Wolfgang Goethe-Universität in Frankfurt am Main zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel:

Prozentualer Hörverlust bei Lärmschwerhörigkeit, ein kritischer Vergleich zwischen Ton- und Sprachgehör verschiedener Populationen

im Zentrum der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde unter Leitung von Herrn Prof. Dr.-Ing. Röser ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe bisher an keiner in- und ausländischen Medizinischen Fakultät bzw. Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht, noch die vorliegende Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Eppstein-Vockenhausen, den 13.4.1983

Cornelia Pabst

Lebenslauf

Am 18.7.1959 wurde ich, Anni Cornelia Pabst, in Eppstein/Taunus als 2. Kind des Kaufmanns Berthold Pabst und seiner Ehefrau Hildegard, geb. Ickstadt geboren.
Von 1966 - 1969 besuchte ich die Grundschule in Eppstein, von 1969 - 1975 das Gymnasium für Mädchen in Frankfurt-Höchst und von 1975 - 1977 das Oberstufengymnasium ebenfalls in Frankfurt-Höchst. Im Dezember 1977 konnte ich vorzeitig mit dem Abitur abschließen. Die Immatrikulation an der Johann Wolfgang Goethe-Universität in Frankfurt/M. erfolgte im April 1978. Die ärztliche Vorprüfung habe ich im März 1980, den ersten Abschnitt der ärztlichen Prüfung im März 1981 und den zweiten Abschnitt der ärztlichen Prüfung im März 1983 bestanden.
Ich hoffe, das Studium im Frühjahr 1984 mit Staatsexamen und Promotion beenden zu können.

Cornelia Pabst

Herrn Prof. Dr.-Ing. D. Röser gilt mein herzlicher Dank sowohl für die Anregung zu dieser Arbeit als auch für die freundliche Beratung und Unterstützung.

Druck und Verarbeitung: copy shop, darmstadt, tel. 21353